



**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»  
(СибГУТИ)**

**УРАЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ (ФИЛИАЛ) в г. ЕКАТЕРИНБУРГЕ  
(УрТИСИ СибГУТИ)**

**УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (УрГУПС), г. ЕКАТЕРИНБУРГ**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР), г. ТОМСК**

# **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОГНИТИВНАЯ ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ**

**Сборник научных трудов VIII Всероссийской научно-  
практической конференции**

Екатеринбург  
2022



Уральский технический  
институт связи  
и информатики

**VIII Всероссийская научно-практическая  
конференция «Информационные технологии и  
когнитивная электросвязь»**  
»

**Научные направления конференции:**

- Инфокоммуникационные технологии и системы связи
- Современные технологии передачи информации
- Системы электросвязи специального назначения

**Партнёры:**



**СибГУТИ**

СИБИРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
И ИНФОРМАТИКИ

СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И  
ИНФОРМАТИКИ (СибГУТИ), г. НОВОСИБИРСК



Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР), г. ТОМСК



УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
(УрГУПС), г. ЕКАТЕРИНБУРГ

УДК 378+621.391

ББК 74.58 + 32.88-01

Информационные технологии и когнитивная электросвязь. VIII Всероссийская научно-практическая конференция;

Сб. науч. ст. в 1 т. / Под ред. Шувалова В.П.;

Сост.: М.П. Карачарова

УрТИСИ СибГУТИ, 2022. 177 с.

#### ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

**Председатель:**

*Минина Е. А.*, кандидат технических наук, директор УрТИСИ СибГУТИ (г. Екатеринбург, Россия);

**Заместитель председателя:**

*Будылдина Н. В.*, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой инфокоммуникационных технологий и мобильной связи УрТИСИ СибГУТИ;

**Члены программного комитета:**

*Овчинников Д. А.*, старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий и мобильной связи УрТИСИ СибГУТИ;

*Волынская А. В.*, кандидат технических наук, доцент, начальник Управления обеспечения образовательного процесса УрГУПС;

*Рогожников Е. В.*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой Телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУР, директор регионального центра компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) по Сибирскому, Уральскому и Дальневосточному федеральным округам по направлению «Технологии беспроводной связи и Интернета вещей».

#### ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ УрТИСИ СибГУТИ

**Председатель:**

*Поршнев С. В.*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инфокоммуникационных технологий и мобильной связи УрТИСИ СибГУТИ;

**Члены организационного комитета:**

*Будылдина Н. В.*, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой инфокоммуникационных технологий и мобильной связи УрТИСИ СибГУТИ;

*Гниломёдов Е. И.*, зав. кафедрой многоканальной электрической связи УрТИСИ СибГУТИ;

*Зацепин В. А.*, кандидат педагогических наук, доцент, зав. кафедрой информационных систем и технологий УрТИСИ СибГУТИ;

*Куанышев В. Т.*, кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой высшей математики и физики УрТИСИ СибГУТИ

*Карачарова М. П.*, начальник методического отдела УрТИСИ СибГУТИ

В сборник включены доклады, выполненные в рамках VIII Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии и когнитивная электросвязь» по актуальным научным направлениям совершенствования и перспективного развития современных инфокоммуникационных технологий и систем связи, информационной безопасности, информационных технологий и защите информации.

Материалы статей, вошедшие в сборник, даны в авторской редакции.

Представленный сборник предназначен для научных работников, аспирантов, студентов и специалистов, работающих в области современных инфокоммуникационных технологий.

Сборник включен в национальную библиографическую базу данных научного цитирования РИНЦ.

Научное издание

Рецензирование: к.т.н., доцент Н.В. Будылдина; ст. преподаватель кафедры ИТиМС Д.А. Овчинников

Оформление: М.П. Карачарова

Подписано в печать 29.04.2022.

Вышло в свет 05.05.2022.

620109, Россия, г Екатеринбург, ул. Репина, д. 15

© УрТИСИ СибГУТИ, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

№ п/п	Авторы и названия статей	Стр.
<b>ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ</b>		
1	<b>А.С. Белоусов, Н.В. Будылдина.</b> Что такое NetFlow и как он работает?.....	6
2	<b>Д.И. Бурумбаев, Е.В. Букрина.</b> Технологическая карта как средство для самостоятельной работы преподавателя в системе электронного обучения Moodle....	10
3	<b>А.Н. Вощенко, В.Т. Куанышев, А.А. Синельников.</b> Применение Яги-Уда антенны для получения стабильного УВЧ канала приёма/передачи поправок в режиме RTK.....	15
4	<b>Е.В. Глазырин, И.И. Салифов.</b> Исследование длиннопролётных оптических сетей R2MP PON-TDM.....	20
5	<b>А.Л. Глебец, А.Н. Рагозин.</b> Построение обнаружителя аномальных искажений сигналов в цифровой системе связи на основе автоэнкодера и согласованного фильтра.....	24
6	<b>Е.И. Гниломедов.</b> Выявление температурной зависимости передаточных параметров механических соединителей оптических волокон.....	29
7	<b>Е.И. Гниломедов, И.И. Шестаков.</b> Оценка влияния различных факторов на коэффициент готовности АОЛС, развертываемой в индустриальном городе.....	32
8	<b>М.О. Головлев, А.Н. Рагозин.</b> Информативность самоорганизующихся искусственных нейронных сетей – карт Кохонена при распознавании типа модуляции радиотехнических сигналов.....	35
9	<b>Н.И. Горлов.</b> Волоконно-оптическое зондирование физических каналов телекоммуникационных систем.....	41
10	<b>М.Д. Ефимов, А.Н. Рагозин.</b> Информативность методов Фурье и вейвлет преобразования сигналов в задачах диагностики технических систем.....	46
11	<b>Б.П. Зеленцов, И.Г. Квиткова, Д.Д. Калмыкова.</b> Исследование функционирования дублированной системы с применением Марковских моделей....	51
12	<b>Д.А. Кондрашов, К.В. Савенко, Е.В. Рогожников.</b> Применение платы TUSUR Iot board в рамках образовательного процесса.....	57
13	<b>Д.В. Сыропятов, И.В. Коробицын, Н.В. Будылдина.</b> Интернет вещей как сетевое оборудование связи.....	61
14	<b>С.Ю. Красных, Д.А. Овчинников, С.А. Баранов, И.А. Малкова.</b> Моделирование радиоканала управления беспилотного летательного аппарата.....	64
15	<b>А.А. Левиков, Д.А. Овчинников.</b> Сравнительный анализ спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС.....	69
16	<b>И.Д. Лушкин, С.А. Магомедов.</b> Анализ существующих технологий и оборудования в сетях связи специального назначения.....	75
17	<b>Ю.А. Никитин.</b> Использование управляемого устройства задержки «Код-напряжение-время» в пассивном цифровом синтезаторе.....	80
18	<b>Ю.А. Никитин.</b> Моделирование параллельного цифроаналогового преобразователя второго типа.....	85
19	<b>Д.А. Овчинников, А.А. Анохин, А.А. Ситникова.</b> Исследование скорости передачи данных по технологии Wi-Fi в зависимости от электромагнитной обстановки.....	90
20	<b>Д.А. Овчинников, С.А. Баранов, С.Ю. Красных.</b> Исследование зависимости коэффициента отражения радиоволн от поверхности воды в зависимости от ее температуры и солености.....	96
21	<b>Д.А. Овчинников, С.Ю. Красных, С.А. Баранов.</b> Исследование зависимости коэффициента отражения радиоволн от поверхности льда в зависимости от его температуры.....	102
22	<b>Д.А. Овчинников, С.Ю. Красных, С.А. Баранов.</b> Исследование зависимости	

	коэффициента отражения радиоволн от поверхности почвы в зависимости от влажности и ее состава.....	107
23	<b>Плеханов С.М., Будылдина Н.В.</b> Анализ трафика устройств Интернета вещей на примере модуля ESP32 CAM.....	113
24	<b>Н.И. Родькин, М.В. Носов, В.О. Куваев.</b> Разработка комбинированной системы мониторинга, позволяющей контролировать затухание и изменение фазы оптического сигнала.....	118
25	<b>В.Р. Таиров, В.Я. Риекстынь, П.Е. Белых., З.А. Мехтиев, Д.А. Овчинников, С.Ю. Красных.</b> Исследование влияния разделительных конденсаторов на ТНД усилителя класса «А».....	124
26	<b>С.А. Тычинкин, К.И. Брагин, В.Г. Дроздова.</b> Анализ методов распределения ресурсов в мобильных сетях передачи данных.....	128
27	<b>Ю.А. Никитин.</b> Устройства задержки цифрового сигнала наносекундного диапазона.....	132
28	<b>В.М. Чистяков, С.А. Магомедов.</b> Обоснование выбора протокола передачи медиапотока для повышения качества передачи информации.....	138
29	<b>В.П. Шувалов, А.Н. Коридзе.</b> Надежность и работоспособность оптических сетей доступа.....	141
30	<b>Е.В. Юрченко, Н.В. Будылдина.</b> Система распределения смешанного взаимодействия для многоуровневой сети туманных вычислений.....	145
31	<b>К.М. Тупицын, В.А. Зацепин.</b> Виртуализация операционных систем как дополнительная возможность в учебном процессе.....	149
	<b>СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ</b>	
32	<b>А.Е. Аникеева, М.Е. Аникеева.</b> Беспроводные сенсорные сети.....	152
33	<b>Д.Ю. Кваша, П.Г. Никитенко.</b> Стратегии и инновации в развитии цифровой экономики Республики Беларусь.....	160
34	<b>Д.В. Кусайкин, А.Е. Каменсков.</b> Анализ подходов проектирования антенн с помощью нейронных сетей.....	164
	<b>СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b>	
35	<b>В.О. Иванов, Ю.Н. Иванов, Н.В. Давыдова.</b> К вопросу о повышении уровня метрологического обеспечения пакетно-ориентированных сетей электросвязи специального назначения.....	169
	<b>АВТОРЫ СТАТЕЙ.....</b>	172
	<b>АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....</b>	177

# СЕКЦИЯ 1. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

А.С. Белоусов, Н.В. Будылдина

## ЧТО ТАКОЕ NETFLOW И КАК ОН РАБОТАЕТ?

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИСибГУТИ), Россия

**Ключевые слова:** NetFlow, SNMP, Gigamon

**Аннотация:** По мере обновления системы и устранения уязвимостей доля вирусных атак, которые проникают на хост и наносят ущерб, постепенно уменьшается. Такие атаки ограничивают сетевые ресурсы, а также повышают риск захвата системы, тем самым разрушая возможности внешней службы поддержки системы. Традиционная система обновления не может обнаруживать и предотвращать такие атаки.

В ответ на этот тип атак отрасль предложила метод обнаружения сетевого потока данных для выявления сетевых аномалий и атак: путем обнаружения информации о сетевом потоке данных в реальном времени, сопоставления с историческими записями (оценка, нормальная) или сопоставления с аномальными шаблонами (определение того, была ли атака), который позволяет сетевым администраторам просматривать состояние всей сети в режиме реального времени, обнаруживать возможные узкие места в производительности сети и выполнять автоматическую обработку или отображение аварийных сигналов для обеспечения эффективной и надежной работы сети. Мониторинг и анализ сети на наличие аномалий и атак производится системой сетевых протоколов NetFlow, созданных компанией Cisco.

A.S. Belousov, N.V. Budyldina

## WHAT IS NETFLOW AND HOW DOES IT WORK?

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics (UrTISISibGUTI) in Yekaterinburg, Russia

**Keywords:** NetFlow, SNMP, Gigamon

**Abstract:** As the system is updated and vulnerabilities are eliminated, the proportion of virus attacks that penetrate the host and cause damage gradually decreases. Such attacks limit network resources and also increase the risk of system hijacking, thereby destroying the capabilities of the external system support service; but a traditional update system cannot detect and prevent such attacks.

In response to this type of attack, the industry has proposed a network traffic detection method to identify network anomalies and attacks: by detecting real-time network traffic information, matching against historical records (score, normal), or matching against anomalous patterns (determining whether attack), which allows network administrators to view the status of the entire network in real time, detect potential bottlenecks in network performance, and automatically process or display alarms to ensure efficient and reliable network operation. Network monitoring and analysis for anomalies and attacks is performed by the NetFlow network protocol system created by Cisco.

NetFlow - это система сетевых протоколов, созданная Cisco, которая собирает активный IP-сетевой трафик, когда он поступает в интерфейс или выходит из него. Затем данные NetFlow анализируются для создания картины потока и объема сетевого трафика — отсюда и название: NetFlow.

Протокол NetFlow используется ИТ-специалистами в качестве анализатора сетевого трафика для определения его точки происхождения, назначения, объема и путей в сети. До NetFlow сетевые инженеры и администраторы использовали Simple Network Management Protocol (SNMP) для анализа и мониторинга сетевого трафика.

Хотя SNMP был эффективен для мониторинга сети и планирования пропускной способности, он не давал подробной информации об использовании полосы пропускания. NetFlow теперь является частью стандарта Internet Engineering Task Force (IETF) в качестве экспорта информации о потоке интернет-протокола (IPFIX, который основан на реализации NetFlow версии 9), и протокол широко внедряется поставщиками сетевого оборудования.

Netflow используется для сбора и записи всего IP-трафика, идущего к маршрутизатору или коммутатору Cisco и от него, с поддержкой Netflow.

Это позволяет собирать трафик и анализировать его с помощью программы (обычно называемой сборщиком или анализатором Netflow), которая затем организует записи потока в формат, позволяющий ИТ-администратору или сетевому инженеру дополнительно анализировать трафик (источник, назначение и т.д.).

Протокол позволяет вам действительно детализировать ваш сетевой трафик, чтобы увидеть, откуда поступает источник трафика и куда он направляется, а также при устранении неполадок в медленных сетевых подключениях LAN или WAN.

Сам протокол не анализирует трафик, но, как упоминалось ранее, при правильной настройке он отправляет трафик на сборщик или анализатор, который представляет собой либо аппаратное устройство, либо, чаще всего, программное обеспечение.

Cisco первоначально разработала протокол для своих продуктов, и вскоре после этого он стал стандартом, который многие другие производители также внедряют в свои продукты, включая Juniper (у которого есть “jFlow”), 3Com / HP, Dell и Netgear (sFlow), Ericsson (RFlow), Huawei (NetStream) и Alcatel-Светящийся (который использует CFlow).

#### **Как Работает NetFlow?**

NetFlow следует простому процессу сбора, сортировки и анализа данных. Основные компоненты включают в себя:

Поток IP-адресов

Поток IP состоит из группы пакетов, которые содержат одни и те же атрибуты IP-пакетов. Когда пакет пересылается внутри маршрутизатора или коммутатора, он проверяется на наличие набора атрибутов, включая IP-адрес источника, IP-адрес назначения, порт источника, порт назначения, тип протокола уровня 3, класс обслуживания и интерфейс маршрутизатора или коммутатора.

Кэш NetFlow

Кэш NetFlow - это база данных сжатой информации, в которой хранятся данные NetFlow после проверки пакетов.

Интерфейс командной строки

Интерфейс командной строки (CLI) - это один из двух методов доступа к данным NetFlow. Он обеспечивает мгновенный просмотр вашего сетевого трафика и полезен для устранения неполадок.

Коллектор NetFlow

Второй вариант доступа к данным NetFlow - экспортировать данные в NetFlow collector, который представляет собой сервер отчетов, который собирает и обрабатывает трафик и экспортированные данные, чтобы их было легко анализировать. Эти сборщики NetFlow делятся на две категории: аппаратные сборщики и программные сборщики, причем программные решения встречаются чаще, чем аппаратные устройства.

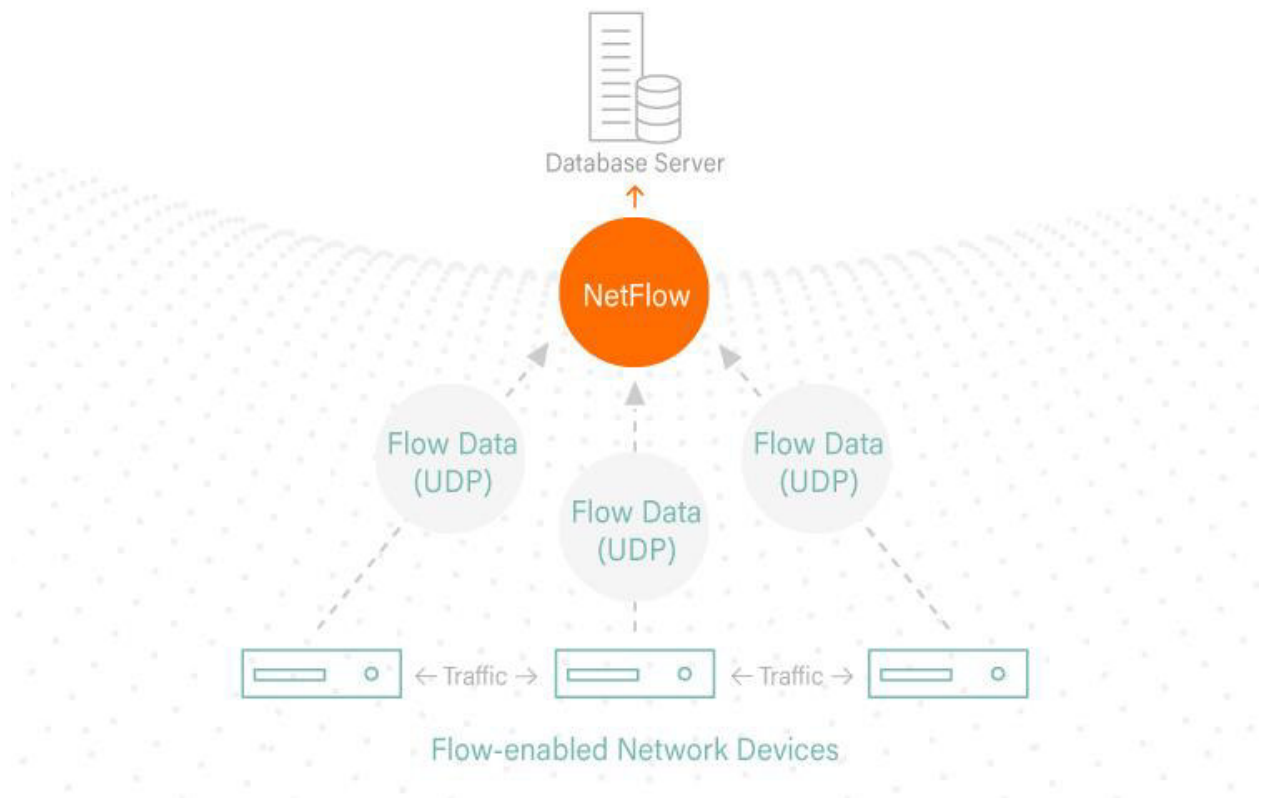


Рисунок 1 – Схема работы протокола с сетевыми устройствами.

#### **Зачем использовать NetFlow?**

Статистика NetFlow полезна для нескольких приложений. К числу главных преимуществ использования NetFlow относятся:

**Мониторинг сети:** Предприятия и пользователи могут использовать методы анализа на основе потоков с помощью NetFlow для визуализации структуры трафика по всей сети. С помощью этого всеобъемлющего представления о потоке трафика группы сетевых операций (NetOps) и операций безопасности (SecOps) могут отслеживать, когда и как часто пользователи обращаются к приложению в сети. Кроме того, команды могут использовать данные NetFlow для мониторинга и профилирования использования пользователем сетевых ресурсов и ресурсов приложений для обнаружения любых потенциальных нарушений безопасности или политики.

**Сетевое планирование:** Команда может использовать NetFlow для отслеживания и прогнозирования роста сети. Например, с помощью NetFlow они могут планировать обновления для увеличения количества портов, маршрутизирующих устройств или интерфейсов с более высокой пропускной способностью, необходимых для удовлетворения растущего спроса.

**Анализ безопасности:** с помощью NetFlow группы безопасности могут обнаруживать изменения в поведении сети для выявления аномалий, указывающих на нарушение безопасности. Эти данные также являются ценным инструментом судебной экспертизы для понимания и воспроизведения истории инцидентов безопасности, чтобы службы безопасности могли извлекать из них уроки.

#### **Недостатки NetFlow:**

Хотя NetFlow обеспечивает улучшенную видимость сетевого трафика, планирование и анализ безопасности, он несет с собой определенные недостатки.

Учитывая изначально высокие требования к доступной пропускной способности, NetFlow оказывает влияние на производительность устройств, на которых он реализован. Чтобы уменьшить это влияние на производительность, сетевые устройства часто полагаются на выборку пакетов (аналогично sFlow) для получения статистики NetFlow. К сожалению, низкая частота дискретизации – иногда всего один на 1000 пакетов – резко снижает видимость сети и может помешать командам выявлять критические угрозы безопасности или проблемы с производительностью.



Кроме того, записи NetFlow могут быть перенаправлены только избранному числу сборщиков или инструментов мониторинга. Часто это число может быть намного меньше, чем требуется для правильного управления сетью и устранения неполадок. Поскольку предприятия сталкиваются с растущим объемом как данных, так и угроз безопасности, видя только часть того, что происходит в сети, предприятия рискуют получить недостаточную информацию для борьбы с угрозами безопасности.

#### NetFlow и Gigamon

Gigamon устраняет риски, связанные с выборкой данных, выполняя статистику NetFlow параллельно с потоками необработанных пакетов. Благодаря этим возможностям обработки пользователи Gigamon могут генерировать статистику NetFlow либо с гораздо более высокой частотой дискретизации, либо даже с линейной скоростью.

Генерация сетевого потока обычно осуществляется маршрутизаторами и коммутаторами как частью производственной сети. Однако, как упоминалось выше, NetFlow действительно влияет на производительность устройств, на которых он реализован. Идти в ногу с растущим объемом данных и скоростью сети - растущая проблема для большинства предприятий, которые испытывают трудности с наличием достаточного количества вычислительных ресурсов, чтобы соответствовать растущему спросу.

Как Gigamon решает эту проблему? С помощью метаданных. В то время как NetFlow предоставляет данные, генерируемые потоком уровня 4, организациям также необходим доступ к метаданным уровня 7 или уровня приложений. Возможность генерации метаданных Gigamon, которая включает NetFlow, генерирует метаданные уровня 4 и уровня 7, которые не подвергаются выборке и выполняются без ущерба для производительности.

Когда мы внедрили это решение здесь, в Gigamon, мы увидели сокращение числа ложных срабатываний, сокращение времени обнаружения угроз и гораздо более эффективное использование нашей службы безопасности. Интегрируя генерацию метаданных Gigamon с нашим решением для управления информацией о безопасности и событиями (SIEM), мы смогли идентифицировать необычные шаблоны в кодах ответов Протокола передачи гипертекста (HTTP), конкретные домены, указывающие на возможное нарушение безопасности, и пользователей, пытающихся получить доступ к сайтам, подписанным сертификатами WoSign Secure Sockets Layer (SSL).

NetFlow был и будет оставаться мощным приложением для повышения видимости сети. Переключив NetFlow на генерацию метаданных Gigamon, команды SecOps и NetOps смогут идти в ногу с растущим объемом и скоростью данных, не жертвуя важной информацией, которую можно получить из мониторинга сети и анализа безопасности.

#### Список литературы:

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы/В. Г. Олифер, Н.А. Олифер. – М. : Питер, 2011. 944 с.
2. Танненбаум Э. Компьютерные сети. – М. : Питер, 2009. 992 с. 130
3. Introduction to Cisco IOS NetFlow - A Technical Overview, статья; URL: [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/ios-nx-os/software/iosnetflow/prod\\_white\\_paper0900aecd80406232.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/ios-nx-os/software/iosnetflow/prod_white_paper0900aecd80406232.html)
4. Cisco Systems NetFlow Services Export Version 9, стандарт; URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3954.txt>
5. Specification of the IP Flow Information Export (IPFIX) Protocol for the Exchange of Flow Information, стандарт; URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7011>

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА КАК СРЕДСТВО ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ MOODLE

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: дистанционное обучение, информационная образовательная платформа, непрерывность образовательного процесса, видеоконференцсвязь, технологическая карта, система электронного обучения Moodle.

В статье рассмотрен вопрос создания технологической карты для организации самостоятельной работы преподавателя в системе электронного обучения Moodle. Использование такой карты позволит преподавателям наполнять дисциплину, создавая различные функциональные модули. В случае необходимости применения дистанционной формы обучения такой подход позволит создать у студентов эффект присутствия на очных занятиях.

D.I. Burumbaev, E.V. Bukrina

## TECHNOLOGICAL MAP AS A MEANS FOR INDEPENDENT WORK OF A TEACHER IN THE MOODLE E-LEARNING SYSTEM

Urals Technical Institute of Communication and Computer Sciences (Branch) of the Federal State Educational Establishment of Higher Learning «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg, Russia.

Keywords: distance learning, information educational platform, continuity of the educational process, videoconferencing, technological map, Moodle e-learning system.

The article considers the issue of creating a technological map for the organization of independent work of a teacher in the Moodle e-learning system. Using such a map will allow teachers to fill the discipline by creating various functional modules. If it is necessary to use a distance learning form, such a campaign will allow students to create the effect of being present in full-time classes.

Начиная с октября 2018 года до конца 2024 года, в России предусмотрена реализация национального проекта «Цифровая экономика РФ», определяющего цели и задачи по шести основным направлениям, одним из которых является «Кадры для цифровой экономики». Цель данного направления – совершенствование системы образования, которая должна обеспечивать цифровую экономику компетентными кадрами.

В реализацию данного направления активно включились все вузы связи России путем совершенствования материально-технической базы и внедрения практико-ориентированного обучения [1]. Но, начиная с 2020 года, во всем мире, начавшаяся пандемия стала причиной серьезных препятствий в организации и реализации традиционных форм обучения на всех его уровнях. В связи с этим для всех учебных заведений, в том числе и высших, огромную актуальность приобрела проблема внедрения дистанционной формы обучения, которая является средством сохранения непрерывности образования в чрезвычайных условиях.

Для реализации учебных программ в вузах по всем направлениям и профилям, дистанционная форма обучения должна иметь информационная образовательная платформа, посредством которой будет обеспечиваться двухсторонняя связь между преподавателем и студентом.

По мнению авторов, информационная образовательная платформа – это комплекс аппаратно-программных средств, позволяющий профессорско-преподавательскому составу вуза обеспечивать непрерывность образовательного процесса и реализовывать его дистанционно в реальном масштабе времени [2].

В УрТИСИ СибГУТИ на базе информационной образовательной платформы существует единая научно-образовательная среда (ЕНОЭС), которая позволяет предоставлять доступ к учебно-методическим комплексам по направлениям подготовки, демонстрационному материалу по изучаемым дисциплинам, осуществлять поиск необходимой литературы, которая есть в библиотеке, прохождению студентами тестов и абитуриентами вступительные испытания.

Существующая информационная образовательная платформа достаточно функциональна, но имеет ряд недостатков:

- 1) неинтуитивный интерфейс;
- 2) сложности при выгрузке учебно-методических комплексов;
- 3) отсутствие возможности работать многозадачно (на нескольких страницах одновременно) из-за некорректной обработки форм запросов.

В связи с этим становится актуальной задача использования более совершенной образовательной платформы, доступ к которой не может быть заблокирован извне, вследствие влияния различных социально-политических факторов.

В качестве такой платформы в УрТИСИ СибГУТИ предложена система Moodle – это система электронного обучения, наиболее популярная система в России, по причине своей доступности [3]. Система содержит главную страницу, куда заносится исходный код, который в дальнейшем используется для создания различных модулей. Ниже представлена часть исходного кода, который размещается на серверах УрТИСИ.

```
<html dir="ltr" lang="ru" xml:lang="ru">
<head>
<title>Образовательная среда УрТИСИ СибГУТИ</title>
<link rel="shortcut icon"
href="https://moodle.uisi.ru/theme/image.php/boost/theme/1634833482/favicon" />
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<meta name="keywords" content="moodle, Образовательная среда УрТИСИ СибГУТИ" />
<link rel="stylesheet" type="text/css"
href="https://moodle.uisi.ru/theme/yui_combo.php?rollup/3.17.2/yui-moodlesimple-min.css" /><script
id="firstthemesheet" type="text/css">/** Required in order to fix style inclusion problems in IE with YUI
**/</script><link rel="stylesheet" type="text/css"
href="https://moodle.uisi.ru/theme/styles.php/boost/1634833482_1634833497/all" />
<script>
```

Для перехода от существующей системы электронного обучения к новой системе существует два варианта:

1) технический отдел организывает и наполняет всю структуру и преподаваемые дисциплины;

2) каждый преподаватель наполняет преподаваемую дисциплину как ему удобно.

Для реализации второго варианта необходимо инструкция, где будет детально расписано назначение и способы настройки различных функций. Вследствие этого было принято решение о разработке технологической карты преподавателя для самостоятельной работы в системе Moodle.

В общем виде технологическая карта включает три раздела.

В первом разделе описываются процедуры входа в систему и идентификации пользователя. Во втором разделе описаны процедуры настройки и редактирования курса.

Третий раздел представляет для преподавателя особую ценность, так как содержит описание процедур наполнения курса дополнительными учебными элементами.

В качестве примера рассмотрим процедуру выдачи задания из третьего раздела технологической карты.

Особенность данного модуля в том, что работа может быть текстовой, набранной онлайн или загруженными файлами любого типа. Оценки могут быть простыми процентами или пользовательскими шкалами, а также могут использоваться более сложные рубрики. Студенты могут представлять задания как индивидуально, так и в группах. Для добавления задания необходимо нажать кнопку «Добавить элемент или ресурс» и выбрать задание, как показано на рисунке 1.

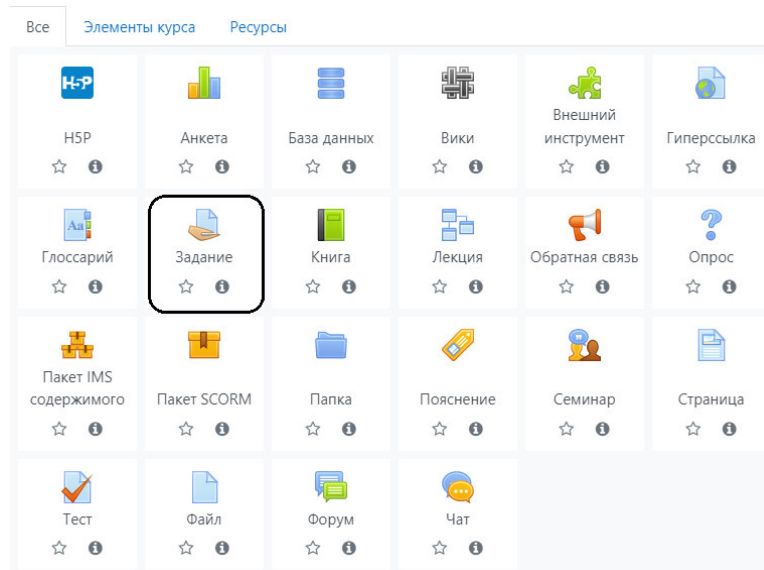


Рис.1 Элемент «Задание»

Появится меню настройки элемента. Необходимо ввести название задания, описание (при необходимости) и загрузите дополнительные файлы (например, содержащие текст задания), как показано на рисунке 2.

Рис. 2 Основные настройки элемента «Задание»

Далее следует выполнить такие настройки задания, как время выполнения, тип ответа (текст или файл) и другие. Также, на этом этапе, возможно, ограничить слушателей в допустимых типах файлов, которые они могут присылать, как показано на рисунке 3.

Затем нажмите кнопку «Сохранить и вернуться к курсу». Элемент «Задание» появится в окне курса. Все добавленные элементы отображаются в курсе, как показано на рисунке 4.

▼ Доступно

Разрешить выполнение задания с  марта 2022    Включить

Последний срок сдачи  апреля 2022    Включить

Запретить отправку после  марта 2022    Включить

Напомнить мне о завершении оценивания  апреля 2022    Включить

Всегда показывать описание

---

▼ Типы представлений ответов

Типы представлений ответов  Ответ в виде текста  Ответ в виде файла

Максимальное число загружаемых файлов

Максимальный размер файла

Допустимые типы файлов   Ничего не выбрано

Рис. 3 Настройка дополнительных параметров элемента «Задание»

+ Тема 1

---

+ Тема 2

---

+ Тема 3

+

---

+

---

+ Тема 4

+

---

+

Рис. 4 Добавленные элементы в пределах курса

Также третий раздел карты содержит описание действий по интеграции лабораторных работ в электронную среду с внешних и внутренних ресурсов, что позволит при дистанционном обучении создать у студентов эффект присутствия на очных занятиях. Помимо этого, в электронной образовательной среде предполагается учебный элемент «Тест», содержащий блок «Банк вопросов», который в дальнейшем предназначен для автоматического конструирования тестов посредством случайного выбора вопросов из банка.

Таким образом, применение Moodle в качестве системы электронного обучения, а также наличие технологической карты, позволит преподавателям самостоятельно наполнять дисциплины различными функциональными модулями. И, как следствие, повысит качество учебного процесса при дистанционном обучении.

#### Литература:

- 1 Гнилomedов Е.И., Шестаков И.И., Букрина Е.В. Информационно-телекоммуникационная цифровая платформа вуза как технологический ресурс подготовки кадров для цифровой экономики в условиях перехода на новые федеральные государственные образовательные стандарты нового поколения. В сборнике: Качество высшего и среднего профессионального образования в условиях перехода на федеральные государственные образовательные стандарты нового поколения. Материалы LX межвузовской научно-методической конференции. Новосибирск, 2019. С. 37-42.

- 2 Бурумбаев Д.И., Букрина Е.В. Анализ возможностей платформ видеоконференцсвязи для реализации дистанционного обучения в вузе. В сборнике: Инфокоммуникационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики. Сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2021. С. 68-71.
- 3 Официальный сайт ведущего разработчика решений для корпоративного обучения ISpring. Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.ispring.ru/elearning-insights/moodle>. – Загл. с экрана.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЯГИ-УДА АНТЕННЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОГО УВЧ КАНАЛА ПРИЁМА/ПЕРЕДАЧИ ПОПРАВОК В РЕЖИМЕ RTK

<sup>1</sup>ТОО «PolyComm»

<sup>2</sup>Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

<sup>3</sup>ТОО «GeoComm»

Ключевые слова: штыревая УВЧ антенна, антенна Яги-Уда, вертикальная поляризация, мощность радиосигнала, радиомодем, диапазон 410-470 МГц, антенно-фидерное устройство, дальность прямой видимости, ГНСС приёмник, дифференциальные поправки, фиксированное решение, режимы работы: база, ровер, RTK.

В статье представлен эффективный метод увеличения дальности и стабильности радиопокрытия в УВЧ диапазоне для решения различных геодезических задач. Показана возможность передавать и принимать дифференциальные поправки между ГНСС приёмниками, работающими в режиме RTK без использования внешнего УВЧ модема большой мощности. Приведены оценочные расчёты и результаты эксперимента

A.N. Vochshenkov<sup>1</sup>, V.T. Kuanyshev<sup>2</sup>, A.A. Sinelnikov<sup>3</sup>

## APPLICATION OF YAGI-UDA ANTENNA TO OBTAIN A STABLE UHF CHANNEL OF RECEIVING/TRANSMITTING CORRECTIONS IN RTK MODE

<sup>1</sup>LLC «PolyComm»

<sup>2</sup>Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

<sup>3</sup>LLC «GeoComm»

Keywords: UHF pin antenna, Yagi-Uda antenna, vertical polarization, radio signal power, radio modem, range 410-470 MHz, antenna-feeder device, line of sight range, GNSS receiver, differential corrections, fixed solution, operating modes: Base, Rover, RTK.

The article presents an effective method for increasing the range and stability of radio coverage in the UHF range for solving various geodetic problems. The ability to transmit and receive differential corrections between GNSS receivers operating in RTK mode without using an external high-power UHF modem is shown. Estimates and results of the experiment are given.

Для достижения необходимых точности и качества геодезических измерений необходима достаточно совершенная методика замеров. Одним из методов ГНСС измерений является метод RTK (Real Time Kinematic - кинематика реального времени) [1], в котором используются два ГНСС приемника - один устанавливается на известной точке, второй перемещается от точки к точке и осуществляет сбор данных [2]. Но принципиальным достоинством данного метода является возможность получения результата непосредственно в момент измерения. Данная возможность реализована за счет прямой связи двух ГНСС приемников.

На текущий момент времени связь двух ГНСС приемников может быть осуществлена посредством двух типов модемов: GPRS и УВЧ [3]. Несмотря на то, что GPRS канал связи по праву можно считать более совершенным и более комфортным для использования, УВЧ канал связи не утратил своей актуальности. И причина тому в отсутствии 100%-го GPRS покрытия территории страны. Поэтому сегодня GPRS канал связи применяется в городах и там, где это физически доступно. Для всех остальных территорий остается только один канал связи — УВЧ.

Практически все современные производители ГНСС оборудования комплектуют свои устройства УВЧ модемом небольшой мощности (в пределах 1-5 Вт) и штыревыми

всенаправленными УВЧ антеннами. А в своей технической документации указывают предельную дальность действия не более 15 км. Для современных ГНСС измерений в режиме RTK 15 км - крайне небольшой показатель [4]. Зная об этом, производители рекомендуют использовать внешние УКВ модемы с максимальной мощностью от 2 до 35 Вт [5]. Однако использование такого устройства имеет ряд существенных ограничений:

- Применение УВЧ модема с мощностью 25-35 Вт требует специального разрешения и регламентируется государством [3];

- Применение УВЧ модема с мощностью 25-35 Вт требует дополнительного мощного источника питания;

- Стоимость оборудования.

Цель данной работы: показать эффективность использования внутреннего радиомодема ГНСС приёмника совместно с антенной Яги-Уда при передаче дифференциальных поправок от базы к роверу в режиме RTK и показать возможность стабильно передавать и принимать дифференциальные поправки на большие расстояния между ГНСС приёмниками, без использования внешнего УВЧ модема большой мощности.

Дальность прямой видимости при нормальной атмосферной рефракции для дециметровых волн [6] определяется по формуле

$$r_0 = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (1)$$

где  $r_0$  – дальность прямой видимости, км;  $h_1$  – высота передающей УКВ антенны базы, м;  $h_2$  – высота приёмной УКВ антенны ровера, м.

Рассмотрим примеры использования ГНСС приёмников с антенно-фидерными устройствами при выполнении геодезических работ на равнинной местности:

- превышение высот базы относительно ровера составляет 18.5 метров;
- высота УВЧ антенны передатчика (ГНСС приёмник работает в режиме базы – передаёт дифференциальные поправки на ровер) равна 20.5 м;
- высота УВЧ антенны приёмника (ГНСС приёмник работает в режиме ровера – принимает дифференциальные поправки от базы) равна 1.6 м.

Из формулы (1) находим ~ 24 км.

Вышеприведённые оценки расстояния уверенной работы в режиме RTK с использованием внутреннего радиомодема базы мощностью 1 Вт подтверждают тезис компании Satel, что в сельской местности радиомодем 1 Вт с прямой радиосвязью может выходить на расстояние более 20 км и даже до 50 км в идеальных условиях [7]. Об этом же говорят и результаты, приведённые в работе [8].

Полученное значение превосходит расстояние в 15 км, заявленное производителями ГНСС приёмников. Это расстояние уверенного приёма поправок ровером от базы по радиоканалу УВЧ с использованием внутреннего радиомодема мощностью в 5 Вт на базе и штыревых УВЧ антенн с коэффициентами усиления 4дБи на ГНСС приёмниках.

Зависимость между мощностями сигналов передатчика и приёмника при распространении УВЧ в реальных условиях [6] определяется по формуле

$$P_1 D_1 D_2 = \left(\frac{4\pi r}{\lambda F}\right)^2 P_2, \text{ Вт} \quad (2)$$

где  $P_1$  - излучаемая антенной мощность, Вт;  $P_2$  - принимаемая антенной мощность, Вт;  $D_1$  - коэффициент усиления УВЧ антенны передатчика;  $D_2$  - коэффициент усиления УВЧ антенны приёмника;  $r$  - расстояние, проходимое электромагнитной волной от передатчика к приёмнику, м;  $\lambda$  - длина электромагнитной волны, м;  $F$  - множитель ослабления.

В логарифмическом варианте уравнение (2):

$$P_1 \text{ дБм} + D_1 \text{ дБи} + D_2 \text{ дБи} = P_2 \text{ дБм} - 20 \lg\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right) - 20 \lg F \quad (3)$$

где  $P_1$  дБм,  $P_2$  дБм - мощности передатчика и приёмника выражены в дБ по отношению к мощности в 1 мВт, а  $D_1$  дБи,  $D_2$  дБи - коэффициенты усиления УВЧ антенн, выраженные в дБ. Обозначим множитель ослабления, выраженный в децибелах, как  $F \text{ дБ} = 20 \lg F$  и найдём его из графика зависимости его медианных значений от расстояния [9]. Для длины волны  $\lambda = 65,15$  см получаем  $F \text{ дБ} \approx -40$  дБ, что согласуется с результатами, полученными в работе [10].



Из формулы (3) находим расстояние, проходимое электромагнитной волной от базы к роверу  $r$  для стандартного комплекта база (радиомодем мощностью 5 Вт, штыревая антенна с усилением 4 дБи) - ровер (радиомодем мощностью 1 Вт, штыревая антенна с усилением 4 дБи): подставляем в формулу (3) значения  $P_{1дБм} = 37$  дБм,  $P_{2дБм} = -115$  дБм,  $D_{1дБи} = 4$  дБи,  $D_{2дБи} = 4$  дБи,  $FдБ = -40$  дБ, получаем значение для  $20 \lg\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right) = -120$  дБ, которое согласуется с данными работы [11]. В результате получаем оценочное значение расстояния, проходимое электромагнитной волной от базы к роверу  $r = 51.9$  км.



Рисунок 1 - База с антенной Яги-Уда

Для комплекта рис.1 база (с внутренним радиомодемом мощностью 5Вт, направленная антенна Яги-Уда с вертикальной поляризацией с усилением 9дБи) - ровер (с радиомодемом мощностью 1Вт, штыревая антенна с усилением 4дБи) из формулы (3) получаем  $r = 92.2$  км.

Значительное увеличение расстояния прохождения электромагнитной волны частотой в 460 МГц от базы к роверу связано с её направленностью у антенны Яги-Уда, с коэффициентом усиления 9 дБи. Использование внутреннего модема мощностью в 5 Вт и антенны Яги-Уда в 9 дБи эквивалентно использованию внешнего радиомодема мощностью  $\sim 16$  Вт и стандартно используемых, всенаправленных штыревых антенн с усилением в 4 дБи на базе и ровере!

Для проведения эксперимента был выбран участок автодороги протяженностью 20 километров с незначительным перепадом высот. Были задействованы два ГНСС приемника от компании Stonex со встроенными УВЧ модемами (один приемник был установлен на штатив и выполнял функции базы, второй приемник выполнял функции передвижного ровера), полевой контроллер, радиомачта и радиоантенна. Всенаправленная жгутиковая и направленная Яги-Уда радиоантенны менялись поочередно. Высота установки двух антенн не превышала 2 метров. Питание оборудования осуществлялось за счет внутренних аккумуляторов.

Технические характеристики УВЧ модемов и антенн, использованных для создания радиосвязи между базой и ровером:

- Радиомодем базы - TRM501 (частотный диапазон 410 – 470 МГц, мощность передачи 5 Вт, чувствительность приема -115 дБм, антенный разъем TNC, 50 Ом);
- Радиомодем TRM121 (частотный диапазон 410 – 470 МГц, мощность передачи 1 Вт, чувствительность приема -115 дБм, антенный разъем TNC, 50 Ом);
- Штыревая УВЧ антенна, ровер – (AR-470) длина 29,3 см, диапазон 450-470 МГц, входное сопротивление 50 Ом, усиление 4 дБи, разъем TNC.
- Направленная антенна Яги-Уда, база – TDJ-450Z5C10A, частотный диапазон 450 – 470 МГц, усиление – 9 дБи, ширина ДН в Н-плоскости – 58 град, ширина ДН в Е-плоскости – 70 град, уровень боковых лепестков ДН не более -13 дБи, отношение вперед/назад, не менее – 20, КСВ в рабочем диапазоне частот не более – 1.5, допустимая мощность 50Вт, поляризация – вертикальная, масса с креплением – 1100 г.

Находясь в движении, контроль удаления ровера от базы выполнялся посредством визуального считывания данных с контроллера.

После удаления ровера от базы на 5 километров измерения проводились каждые 5 километров. На контрольных пунктах в 10, 15 и 20 километров ровер принимал поправку от базы, выдавал фиксированные решения с сантиметровой точностью, результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты измерений с Яги-Уда антенной на базе

Все измерения выполнены в статусе «Фиксированного решения». Фиксированное решение однозначно указывает на то, что ровер получает поправку от базы, канал связи стабилен и не имеет разрывов.

10:27	10:38	11:05
<p>GPS статус</p> <p>Широта <b>049°48'03.235236"</b>                      Долгота <b>072°40'37.397550"</b>                      Высота над уровнем моря <b>442.5880</b>                      Север <b>5521335.0076</b>                      Восток <b>332844.5594</b>                      Высота <b>478.0296</b>                      Скорость <b>0.02 (0.00 avg)</b>                      Угловой курс <b>97.11</b>                      Состояние <b>ФИКС</b>                      HRMS <b>0.009</b>                      VRMS <b>0.011</b>                      Спутники <b>G8+R6+C17+E8/51</b>                      Diff Режим <b>AUTO</b>                      Задержка <b>1.0</b>                      PDOP <b>0.70</b>                      HDOP <b>0.40</b>                      VDOP <b>0.60</b>                      TDOP <b>0.33</b>                      GDOP <b>0.75</b>                      UTC Время <b>2022-04-07 04:27:01.0</b>                      Местное время <b>2022-04-07 10:27:01.0</b>                      Расстояние до Базы <b>10124.682</b></p>	<p>GPS статус</p> <p>Широта <b>049°50'12.251958"</b>                      Долгота <b>072°36'55.577316"</b>                      Высота над уровнем моря <b>436.5780</b>                      Север <b>5525459.7362</b>                      Восток <b>328536.1134</b>                      Высота <b>471.9445</b>                      Скорость <b>0.07 (0.01 avg)</b>                      Угловой курс <b>171.34</b>                      Состояние <b>ФИКС</b>                      HRMS <b>0.012</b>                      VRMS <b>0.016</b>                      Спутники <b>G7+R7+C16+E9/55</b>                      Diff Режим <b>AUTO</b>                      Задержка <b>1.0</b>                      PDOP <b>0.70</b>                      HDOP <b>0.40</b>                      VDOP <b>0.60</b>                      TDOP <b>0.33</b>                      GDOP <b>0.75</b>                      UTC Время <b>2022-04-07 04:38:07.0</b>                      Местное время <b>2022-04-07 10:38:07.0</b>                      Расстояние до Базы <b>15108.207</b></p>	<p>GPS статус</p> <p>Широта <b>049°52'19.888968"</b>                      Долгота <b>072°35'05.863986"</b>                      Высота над уровнем моря <b>433.8550</b>                      Север <b>5529472.8181</b>                      Восток <b>326471.1614</b>                      Высота <b>469.1694</b>                      Скорость <b>0.29 (0.10 avg)</b>                      Угловой курс <b>98.03</b>                      Состояние <b>ФИКС</b>                      HRMS <b>0.012</b>                      VRMS <b>0.018</b>                      Спутники <b>G9+R5+C15+E8/52</b>                      Diff Режим <b>AUTO</b>                      Задержка <b>1.0</b>                      PDOP <b>0.70</b>                      HDOP <b>0.40</b>                      VDOP <b>0.60</b>                      TDOP <b>0.34</b>                      GDOP <b>0.77</b>                      UTC Время <b>2022-04-07 05:05:41.0</b>                      Местное время <b>2022-04-07 11:05:41.0</b>                      Расстояние до Базы <b>19590.804</b></p>
<p>Детали База Карта спутников Информация о спутниках Сигнал/Шум</p>	<p>Детали База Карта спутников Информация о спутниках Сигнал/Шум</p>	<p>Детали База Карта спутников Информация о спутниках Сигнал/Шум</p>

На удалении в 10 километров роверу, принимавшему сигнал от базы с всенаправленной антенной потребовалось 10 секунд для выхода в рабочее состояние, при этом задержка приема сигнала от базы была в пределах 1-3 секунд. В случае получения сигнала от Яги-Уда антенны роверу потребовалось не более 1 секунды для выхода в рабочее положение, при этом задержка получения сигнала от базы не превышала 1 секунды.

На удалении в 15 километров роверу, принимавшему сигнал от базовой станции с всенаправленной антенной потребовалось 13-15 секунд для выхода в рабочее состояние, при этом наблюдалось увеличение задержки приема сигнала от базы в пределах 2-3 секунд. В случае получения сигнала от направленной антенны роверу потребовалось не более 1 секунды для выхода в рабочее состояние, при этом задержка получения сигнала от базы не превышала 1 секунды.

На удалении в 20 километров ровер, принимавший сигнал от базовой станции с всенаправленной антенной не смог выйти в рабочее положение, наблюдалось значительное превышение (до 20-30 секунд) и нестабильность задержки приема сигнала от базы. В случае получения сигнала от Яги-Уда антенны роверу потребовалось не более 5 секунд для выхода в рабочее положение, при этом задержка получения сигнала от базы не превышала 1 секунды.

Полученные результаты позволяют с уверенностью утверждать об эффективности использования внутреннего радиомодема ГНСС приёмника совместно с антенной Яги-Уда при передаче дифференциальных поправок от базы к роверу в режиме RTK. Увеличивается стабильность и дальность передачи дифференциальных поправок на большие расстояния между ГНСС приёмниками без использования внешнего УВЧ модема большой мощности.

#### Литература:

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: монография. В 2 т. Т. 2. - М.: Картгеоцентр, 2006. - 360 с.

2. Варфоломеев А. Ф., Чудайкина О. Ю. Использование RTK-режима систем глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС при проведении топографических работ [Электронный ресурс] / Огарев-online. – 2015. – №4. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/ispolzovanie-rtk-rezhima-sistem-globalnogo-pozicionirovaniya-gps-i-glonass-pri-provedenii-topograficheskikh-rabot/> Дата доступа: 05.12.2021.
3. Караванов М.Ю. Малибашев Б.М. GPS-съёмка в режиме RTK с использованием мобильных телефонов с услугой GPRS. [Электронный ресурс] / Геопрофи.ru #1 2004 – Режим доступа: [http://www.geoprofi.ru/technology/Article\\_801\\_10.aspx](http://www.geoprofi.ru/technology/Article_801_10.aspx) Дата доступа: 07.12.2021.
4. Писецкая О.Н., Исаева Я.В., Пушкарь А.А. Координирование границ земельных участков с использованием спутникового оборудования в различных режимах съёмки. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Мелиорация и землеустройство. – г. Горки, Беларусь, 2018
5. Guide to Wireless Data Links. [Electronic resource] / Products – Access mode: [http://www.pacificcrest.com/library/BRO\\_Guide\\_Wireless\\_Data\\_Links.pdf/](http://www.pacificcrest.com/library/BRO_Guide_Wireless_Data_Links.pdf/) – Access date: 05.12.2021.
6. Чернышов В.П. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства. Задачи и упражнения. – М. : Радио и связь, 1982. –144с
7. Real-time wireless data transfer. [Electronic resource] / Products – Access mode: <https://www.satel.com/products/>– Дата доступа: 05.12.2021.
8. Вощенко А.Н., Куанышев В.Т., Синельников А.А. Применение антенно-фидерного устройства в холмистой местности для увеличения дальности передачи дифференциальных поправок от базы к роверу в режиме RTK. Инфокоммуникационные технологии: Актуальные вопросы цифровой экономики. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. Под редакцией В.П. Шувалова. Сост. М.П. Карачарова. Екатеринбург, 2022
9. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. Издание 4-е Издательство "Связь",– Москва, 1972. –336с
10. Мещеряков А.А., Бирюкова В.-К.А. Оценка множителя ослабления УКВ-радиосигналов на приземной трассе. Доклады ТУСУРа, № 2 (18), часть 2, декабрь 2008 УДК 621.396.96
11. Калинин А.И. Распространение радиоволн и работа радиолинии / Л.И. Калинин, Е.Л. Черенкова. – М.: Связь, 1971. – 440 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЛИННОПРОЛЁТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ P2PM PON-TDM

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: PON, оптический усилитель, EDFA, PDFA.

В статье рассмотрен метод, структурная схема и приведены результаты моделирования схемы ВОЛС GPON с использованием EDFA и PDFA усилителей. В результате разработанная схема получилась полностью работоспособная, что подтверждают значения BER для нисходящего и восходящего потоков.

E.V. Glazyrin, I.I. Salifov

## INVESTIGATION OF LONG-SPAN OPTICAL NETWORKS P2PM PON-TDM

Ural technical institute of communications and informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Keywords: PON, optical amplifier, EDFA, PDFA.

The article considers the method, block diagram and shows the results of modeling the GPON FOCL circuit using EDFA and PDFA amplifiers. As a result, the developed scheme turned out to be fully operational, which is confirmed by the BER values for the downlink and uplink.

Гигабитные пассивные оптические сети (GPON) на текущий момент являются наиболее передовой технологией, скорость передачи данных которой составляет около 2,5 Гбит/с для восходящего и нисходящего потоков [1]. Обычно физическая длина пассивной оптической сети составляет около 20 километров, так как обычно радиус крупных населенных пунктов от центра города не превышает данного значения. Одной из проблем данной архитектуры сети является довольно ограниченный энергетический бюджет линии из-за больших потерь на оптических разветвителях большого порядка, таких как 1:64 и 1:128.

Согласно рекомендациям ITU-T G.984 [2], GPON может поддерживать оптический бюджет мощности в 28 дБ, ограничиваясь соотношениями разветвления оптическими разветвителями 1:32 и протяженностью длины пролета не более 20 километров. При преодолении ограничений на физическом уровне есть возможность поддерживать более протяженную длину сети и более емкое соотношение разветвлений.

В крупных населенных пунктах, где достаточно большое количество абонентов, можно локализовать точки доступа OLT (Optical Line Terminal) для определенных районов. Для районов, где находится много жилых помещений и большой процент абонентов, будет экономически выгодно использовать оптические разветвители 1:64 и 1:128, так как срок окупаемости сети для оператора значительно сократится. Однако, учитывая проблему ограниченности энергетического потенциала пассивной оптической сети, не всегда удастся использовать вышеуказанные оптические разветвители из-за больших вносимых потерь.

Решением данной проблемы может стать использование оптических усилителей на сетях GPON, что должно позволить при протяженности пролета не более 20 километров использовать, как минимум, оптические разветвители порядка 1:64 и, возможно, даже 1:128.

В GPON передача информации для всех пользователей происходит одновременно с временным разделением каналов от оптического линейного терминала (OLT) до конечных оптических сетевых блоков (ONU). Прием-передача в обоих направлениях, как правило, производится по одному оптическому волокну, однако на разных длинах волн. Длина волны,

используемая в восходящем потоке (от абонента к OLT), составляет 1310 нм, а длина волны в нисходящем потоке (от OLT к абоненту) составляет 1550 нм. При использовании оптического усилителя только в нисходящем потоке, учитывая что будет использоваться оптический разветвитель 1:64 или 1:128, может привести к полному затуханию оптического сигнала в восходящем потоке, так как данные разветвители вносят очень большие потери. Поэтому было принято решение разработать схему сети GPON с использованием двух оптических усилителей для длины волны 1550 нм в нисходящем потоке (downlink) и 1310 нм в восходящем потоке (uplink).

Структурная схема должна предполагать использование оптических усилителей недалеко от разветвителей, которые будут усиливать сигнал в двух направлениях. В нисходящем потоке будет использоваться оптический усилитель на основе оптического волокна легированного эрбием (Erbium Doped Fibre Amplifier), так как он поддерживает усиление оптического сигнала с длиной волны 1550 нм. Усилитель представляет собой активное оптическое устройство, обеспечивающее увеличение оптической мощности входящего в него одиночного или группового оптических сигналов, без электронного преобразования. Средняя чувствительность усилителя EDFA равна -30 дБм, максимальный коэффициент усиления равен 17 дБм.

В восходящем потоке будет использоваться оптический усилитель празеодимовый волоконный усилитель (Praseodymium Doped Fiber Amplifier), который поддерживает усиление оптического сигнала с длиной волны 1310 нм. Средняя чувствительность усилителя PDFA равна -30 дБм, а максимальный коэффициент усиления доходит до 35 дБм.

Структурная схема также предполагает использование оптического линейного терминала (OLT) с максимальной выходной мощностью лазерного диода 7 дБм и максимальной чувствительностью фотодиода -34 дБм. В качестве приемного устройства будет использоваться оптический сетевой блок (Optical Network Units) с максимальной выходной мощностью лазерного 5 дБм и максимальной чувствительностью фотодиода -30 дБм.

Структурная схема изображена на рисунке 1.

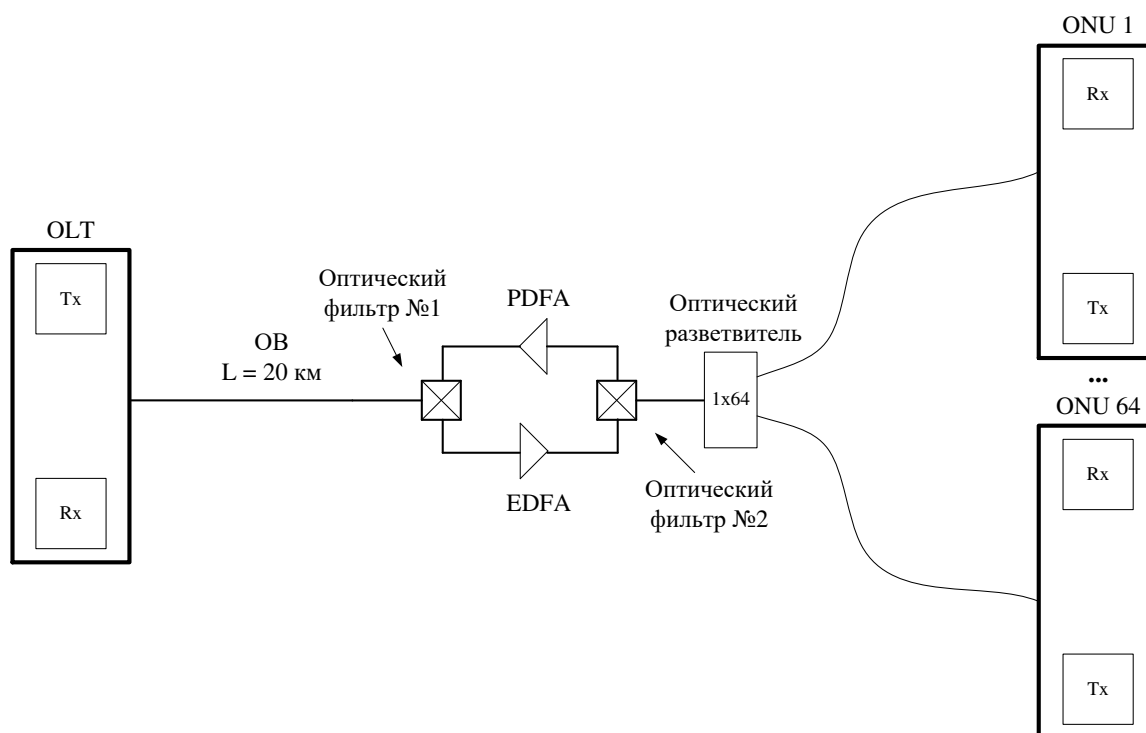


Рисунок 1 – Исследуемая структурная схема PON

В качестве эксперимента в схеме не будут учтены потери на разъемных и неразъемных соединениях, а также потери на коннекторах.

Проверка работоспособности разработанной схемы выполнено в среде моделирования OptiSystem. В качестве оптического разветвителя будет использоваться оптический аттенуатор, коэффициент затухания которого будет эквивалентен потерям оптического сплиттера 1x64 (24 дБ).

Смоделированная схема в среде моделирования OptiSystem изображена на рисунке 2.

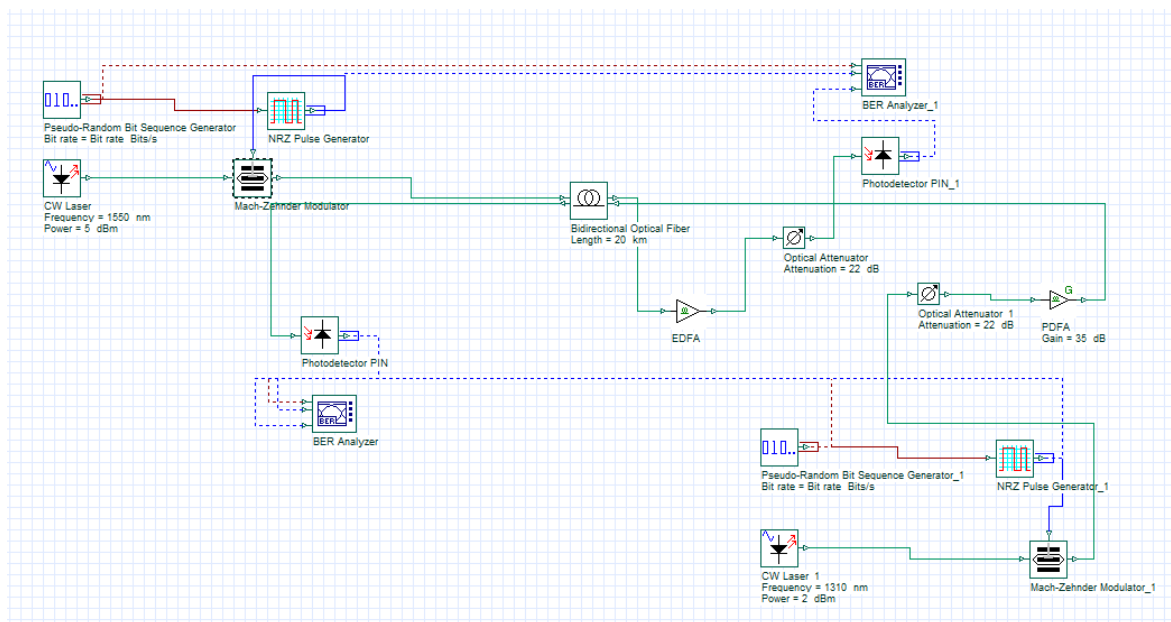


Рисунок 2 – Смоделированная исследуемая схема PON

Работоспособность схемы оценивалась на анализе отношения ошибочно принятых битов к общему количеству принятых бит с помощью анализатора битовых ошибок (BER Analyzer) для восходящего и нисходящего потоков. Минимальный допустимый BER для GPON сетей составляет  $1 \times 10^{-11}$  [2].

Результаты моделирования при использовании для нисходящего и восходящего потоков представлены на рисунке 3.

Max. Q Factor	7.20451	Max. Q Factor	8.12681
Min. BER	2.20302e-013	Min. BER	1.88261e-016
Eye Height	0.000423769	Eye Height	0.00806494
Threshold	0.000119982	Threshold	0.00357225
Decision Inst.	0.671875	Decision Inst.	0.53125

при EDFA

при PDFA

Рисунок 3 – Результат BER для нисходящего и восходящего потоков

Значение BER для нисходящего потока составил  $BER = 2,2 \times 10^{-13}$ , а для восходящего потока  $BER = 1,88 \times 10^{-16}$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что представленная схема ВОЛС GPON с EDFA и PDFA усилителями функционирует. Схему можно применять на практике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- ОДО «ТКС-МиСБoS Активные и пассивные оптические сети - Электрон. Дан - Екатеринбург, [2016]

2. G.984.3: Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission Convergence Layer Specification. Available online: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3> (accessed on 28 May 2020). Fionov A. Arithmetic homophonic coding with dummy symbols // 2004 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT-2004). Chicago, Illinois, USA, June 27 – July 2, 2004. P. 129.

## **ПОСТРОЕНИЕ ОБНАРУЖИТЕЛЯ АНОМАЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ В ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ АВТОЭНКODЕРА И СОГЛАСОВАННОГО ФИЛЬТРА**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет)» (ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ)), Россия

Ключевые слова: автоэнкодер, согласованный фильтр, искусственная нейронная сеть.

Активный контроль аномальных отклонений сигналов в системах связи позволяет обнаружить на раннем этапе момент неявного отказа одного из узлов диагностируемой системы связи. Выполнение данной задачи в режиме реального времени предлагается проводить с помощью устройства обнаружения аномальных искажений сигнала на основе искусственной нейронной сети - автоэнкодера.

A.L. Glebets, A.N. Ragozin

## **AN ANOMALOUS SIGNAL DISTORTION DETECTOR IN A DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM BUILT ON THE BASIS OF THE AUTOENCODER AND THE MATCHED FILTER**

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “South Ural State University (national research university)” (FSAEIEH SUSU (NRU)), Russia

Keywords: autoencoder, matched filter, artificial neural network.

An active control over anomalous signal distortions in the communication systems allows one to detect a moment of a latent breakdown in a diagnosed system unit at early stage. The realization of the task in real time is supposed to be carried out using a special device for detecting anomalous signal distortions on the basis of an artificial neural network – autoencoder.

В работе рассматривается устройство для предупреждения возникновения аварийного состояния одноканальной системы передачи дискретных сообщений [1].

В ходе передачи сигнала по каналу связи могут возникнуть искажения, связанные с воздействием на канал передачи различного рода помех, также неисправностью отдельных элементов. Обнаружение аномальных искажений сигнала на раннем этапе позволит выявить дефект в системе связи и принять превентивные решения. Каждая система работает с характерными для нее сигналами, параметры которых могут варьироваться в заданных пределах. В исследовании предлагается применить искусственную нейронную сеть (ИНС) – автоэнкодер для обнаружения искажений в тракте связи на раннем этапе.

ИНС – автоэнкодер производит сжатие (кодирование) и восстановление входных данных, выделяя при этом главные признаки, с целью получить выходной сигнал, идентичный входному [2]. Автоэнкодер будет эффективно восстанавливать только те сигналы, которые аналогичны обучающей выборке. Для обучения автоэнкодера требуется подать типичные для рассматриваемой системы сигналы.

Поступивший на вход дискретный сигнал проходит через ИНС – автоэнкодер и полученные с выхода автоэнкодера отсчеты сигнала интерпретируются как импульсная характеристика согласованного фильтра (СФ). Далее проводится операция свертки полученных отсчетов и исходного (со входа ИНС – автоэнкодера), не обработанного сигнала. Максимальное значение выхода СФ сравнивается с пороговым уровнем и на основе этого сравнения определяется соответствие сигнала допустимому уровню искажений.



Структура системы для обнаружения искажений на раннем этапе представлена на рис. 1.

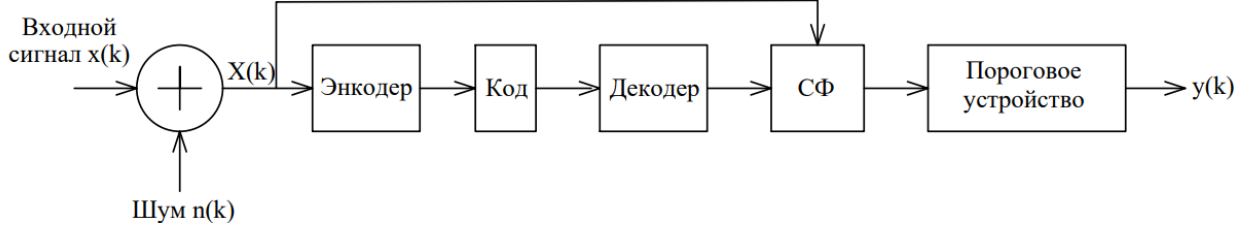


Рис. 1. Структурная схема системы для классификации входных данных

Обучающая выборка состоит из сигналов длительностью 1800 отсчетов, представляющих собой последовательность прямоугольных импульсов (рис. 1). Количество обучающих сигналов 1000. Длительность коротких импульсов варьируется в пределах [70...90] мкс, более длительный импульс [170...190] мкс, интервал между импульсами составляет [170...190] мкс. Примем, что это типичные для системы сигналы.

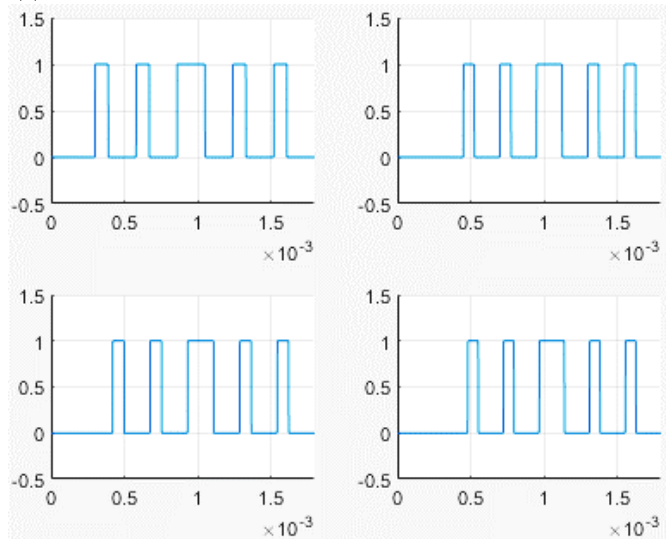


Рис. 2. Часть обучающей выборки

Обученный автоэнкодер при подаче на вход зашумленной или искаженной последовательности восстанавливает похожий по форме сигнал, но при значительном искажении структура восстановленного сигнала будет изменяться. На основе этого факта можно создать устройство для диагностики системы по уровню искажений.

Проведем моделирование [3] для подтверждения вышеуказанных выводов. На вход автоэнкодера подан сигнал, параметры которого соответствуют обучающей выборке, и аддитивный белый гауссовский шум. Как видно из рисунка 3 восстановленный автоэнкодером сигнал отфильтрован, имеет похожую форму импульсов и амплитуду, равную  $U_{и} = 1$ . Учитывая, что в дальнейшем проводится свертка сигналов в СФ, искажения фронтов импульса не оказывают значительного влияния на результат.

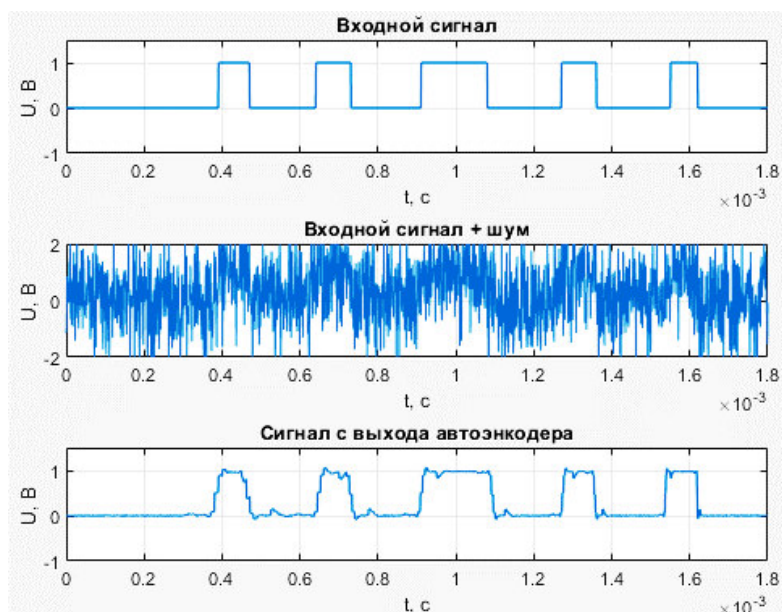


Рис. 3. Временные диаграммы прохождения «нормального» сигнала через автоэнкодер

Принцип работы системы обнаружения искажений состоит в следующем: полученный входной сигнал сохраняется в памяти, затем производится его многократное прохождение через систему (рис. 1). С выхода СФ получаем максимальное значение и сравниваем его с установленным пороговым значением. Важно отметить, что пороговое значение выбирается для конкретной системы на основе среднего значения с выхода СФ прошедших сигналов, нормальных для данного тракта. При превышении порогового уровня будем классифицировать входной сигнал как нормальный, а значение ниже порогового будет обнаруживать сигнал, характеризующий неявный отказ тестируемого тракта системы связи.

Для получения достоверного результата поступающий сигнал необходимо запомнить и подать на автоэнкодер  $N$  раз, так как восстановление одного и того же сигнала в смеси с шумом каждый раз отличается. В связи с этим, обнаружения искажений будет проводится на основе получения количество значений  $Z$ , не превышающих установленный порог из  $N$  проведенных экспериментов. Моделирование проводится с прохождением тестового сигнала через устройство обнаружения искажений  $N = 50$  раз.

Вариант 1. Тестовый сигнал имеет постоянную амплитуду импульсов  $U_{и} = 1$ , длительность импульсов и интервал между ними не выходят за пределы, установленные для обучающей выборки. На рисунке 4 изображен вид сигнала с выхода устройства обнаружения искажений для одного из экспериментов и максимальное значение этого сигнала в серии из  $N = 50$  экспериментов. Пороговое значение установлено  $U = 410$  В. В данной серии экспериментов уровень сигнала превышает пороговое значение в 100% случаев.

Так же, для всех вариантов будет проводится сравнение результатов, полученных при работе устройства обнаружения искажений, основанного на автоэнкодере с устройством, выполняющим свертку входной последовательности с линейным СФ, импульсная характеристика которого представляет зеркальное отражение «идеального» для данного тракта сигнала (длительность коротких импульсов равна 80 мкс, длительный импульс 180 мкс, интервал между импульсами составляет 180 мкс).

При аналогичных параметрах сигнала и количестве проведенных экспериментов значения с выхода линейного СФ также превышают порог во всех случаях.

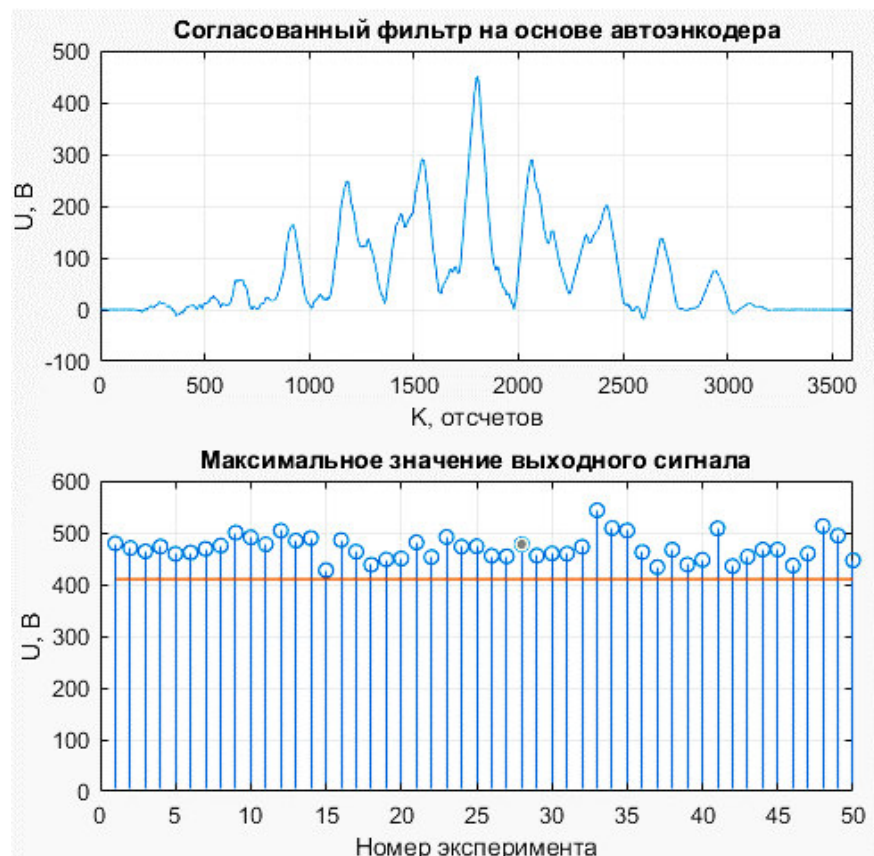


Рис. 4. Уровень и вид выходного сигнала при «нормальном» воздействии

Вариант 2. Тестовый сигнал имеет нестабильную амплитуду импульсов равную  $[0,9...1,0] \cdot U_{и}$ , длительность импульсов и интервал между ними не выходят за пределы, установленные для обучающей выборки.

Проведя серию экспериментов для устройства, основанного на автоэнкодере установлено, что количество значений  $Z$ , не превышающих порог равняется 4-12% от общего числа. Количество значений  $Z$  для устройства на линейном СФ равняется 0-8%.

Вариант 3. Амплитуда импульсов стабильна  $U_{и} = 1$ , длительность импульсов и интервал между ними варьируются в пределах 20% от значений «идеального» сигнала.

Для данного вида сигнала максимальное выходное значение не превышает порог в 20-50% случаев, и 10-20% для значений линейного СФ. Кроме того, при увеличении длительности импульсов реакция линейного СФ представляет увеличение выходных значений, а соответственно классифицирует сигнал как «нормальный», тогда как устройство на основе автоэнкодера «замечает» данные искажения. Это происходит в силу снижения качества восстановления сигнала, что напрямую уменьшает итоговое отношение сигнал/шум (рис.5).

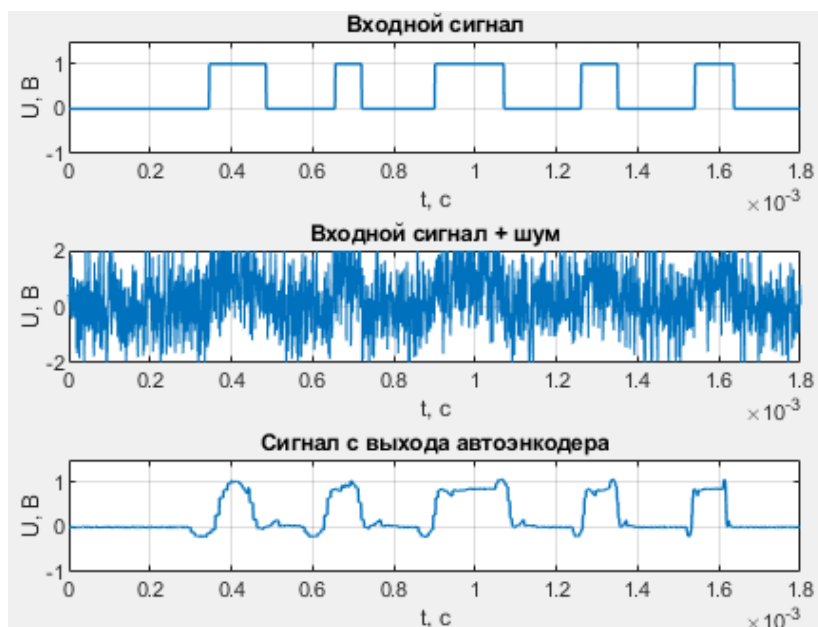


Рис. 5. Временные диаграммы прохождения «аномального» сигнала через автоэнкодер

Выводы.

Устройство классификации сигналов на основе нейросети автоэнкодера возможно применить для предупреждения выхода из строя системы передачи данных. В ходе сравнения с классификацией на основе линейного СФ выяснено, что применение автоэнкодера повышает чувствительность обнаружения, что позволяет обнаружить незначительные изменения в структуре входного сигнала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. — М.: Высшая школа, 2005. — 462 с.
2. Min Chen Senior Member IEEE Xiaobo Shi Yin Zhang Senior Member IEEE Di Wu Mohsen Guizani Fellow IEEE. Deep Feature Learning for Medical Image Analysis with Convolutional Autoencoder Neural Network // IEEE Transactions on Big Data. — 2017.
3. Николаева, С.Г. Нейронные сети. Реализация в Matlab: учеб. пособие / С.Г. Николаева. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. — 92 с.

## ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Уральский технический институт связи и информатики (филиал)  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

**Ключевые слова:** оптические волокна, механический соединитель оптического волокна, линейные размеры, передаточные параметры оптических волокон.

В статье рассмотрены расчеты и эксперимент по выявлению температурной зависимости передаточных характеристик механических соединителей оптических волокон.

E.I. Gnilomyodov

## DETECTION OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF TRANSFER PARAMETERS OF MECHANICAL CONNECTORS OF OPTICAL FIBER

Urals Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

**Keywords:** optical fibers, mechanical optical fiber connector, linear dimensions, transfer parameters of optical fibers

The article discusses calculations and an experiment to identify the temperature dependence of the transfer characteristics of mechanical connectors of optical fibers.

В настоящее время есть различные способы сращивания оптических волокон. В основном применяются сварка оптического волокна. Альтернативой данному способу являются механические соединители. Соединители имеют ряд преимуществ перед сварным соединением [1]. Однако данные соединители не нашли широкого применения при прокладке линейных оптических кабелей, так как они плохо приспособлены к отрицательным температурам. Тем не менее, как утверждают производители механических соединителей (компании 3М (соединитель Fiberlok) и AMPConnect (соединитель Corelink)), возможно использование данных соединителей при низких температурах. Однако в открытом доступе не предоставлено данных о проведенных исследованиях в этой области. Целью работы явилось выявление зависимости передаточных параметров механических соединителей оптических волокон от температуры окружающей среды в зимний период.

Для механического соединения концы подготовленных волокон поочередно укладывают в каналы, в V-образных стальных пластинах внутри соединителя, после чего обе половины пластин соединяют, фиксируя волокно. Под действием давления стальных элементов, соединяемые волокна выравниваются. Потери в таких соединителях, согласно техническим характеристикам, не превышают 0,1 дБ в диапазоне температур от -40 до +80 С.[2,3]

Разработанные ранее модели длинной волоконно-оптической линии связи не позволяют определить влияние температуры на качество механического соединения оптических волокон [4]. Для выявления температурной зависимости характеристик оптического излучения при прохождении через соединитель была собрана экспериментальная установка, состоящая из оптического кросса, соединительной муфты FOSC-500AA, отрезка оптического кабеля ОКЛ-0,22-16, соединителей Fiberlok2529 м AMP Corelink. Для проведения измерений был применен оптический тестер KIWI 4200 [5].

При проведении эксперимента оптические волокна были соединены предлагаемыми оптическими соединителями, установлены в муфту и помещены за пределы помещения. В

процессе проведения эксперимента в течение дня каждые 60 минут производились замеры уровня сигнала при изменении температурных показателей. Измерения проводились на длине волны 1550 нм, как наиболее чувствительной к внешним факторам, воздействующим на оптическое волокно.

По результатам измерений был проведен расчет потерь в соединителях, исходя из технических характеристик источника излучения

Изменение линейных размеров стальных пластин соединителей рассчитывалось по формуле (1) [6]:

$$\Delta L = A \times L_0 \times \Delta T, \quad (1)$$

где  $A$  – среднее значение температурного коэффициента линейного расширения стали ( $11 \times 10^{-6}$  К);

$L_0$  – начальный размер стальных элементов соединителей;

$\Delta T$  – разность температур.

Изменение линейных размеров конструкции в соединителе вызывают дополнительные потери при соединении волокон. При осевом смещении дополнительные потери определяются по формуле (2) [6]:

$$A_s = 10 \cdot \lg \frac{2d}{2d - S \cdot \text{tg} \theta_A}, \quad (2)$$

где  $\theta_A$  – апертурный угол волокна (у стандартного одномодового волокна  $12^\circ$ );

$d$  – диаметр сердцевин (10 мкм);

$S$  – осевое смещение ОВ.

В качестве осевого смещения были взяты изменения линейных размеров стальных элементов соединителей.

Результаты расчетов и измерений представлены в таблице 1, графики температурной зависимости показаны на рисунке 1.

Таблица 1 Результаты расчетов и эксперимента

№ измерений	Измеренные потери Corelink, дБ	Измеренные потери Fibrlok, дБ	Расчетные потери, дБ	Температура, С <sup>0</sup>
1	0,31	1,04	0,507	-23,00
2	0,4	1,29	0,518	-24,00
3	0,32	1,18	0,500	-21,50
4	0,21	1,12	0,433	-20,50
5	0,22	1,12	0,433	-20,50
6	0,27	1,07	0,448	-21,00
7	0,05	1,12	0,433	-20,50
8	0,02	1,22	0,495	-22,00
9	0,24	1,24	0,500	-22,50

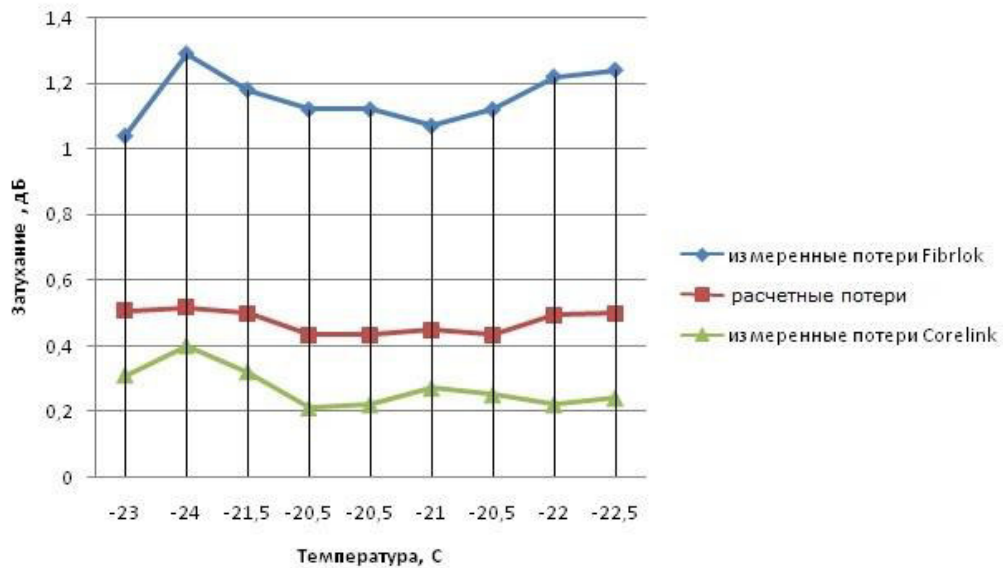


Рис. 1– График зависимости оптических потерь от температуры

В ходе эксперимента выявлено, что происходит изменение передаточных параметров механических соединителей оптических волокон в условиях пониженных температур. Выявленная зависимость в целом соответствует расчетным данным, что оправдывает нежелание использования операторами связи данного метода сращивания оптических волокон, в связи с температурной нестабильностью механического соединения и как следствие влияние данной нестабильности на оптический сигнал.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи. М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 464 с.
2. Fibrlok П 2529. Универсальный соединитель оптического волокна. Инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.ssd.ru/upload/iblock/18c/fibrlok\\_2529.pdf/](https://www.ssd.ru/upload/iblock/18c/fibrlok_2529.pdf/)
3. CORELINK Fiber Optic Mechanical Splice/ Instruction Sheet – Режим доступа: <https://kross-kontakt.ru/kabel-opticheskij/connect-2/corelink-2> <https://kiwitech.ru/pdf/kiwi-4200v2.pdf>
4. Роль технических моделей в учебном процессе инфокоммуникационного вуза на примере натурной модели волоконно-оптической линии связи. Гниломёдов Е.И. В сборнике: Проблемы обеспечения качества высшего образования в условиях реализации ФГОС. Материалы 57 (LVII) научно-методической конференции. 2016. С. 337-340.
5. Источник оптического излучения. Технические характеристики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kiwitech.ru/pdf/kiwi-4200v2.pdf>
6. Сухова, Т.А. Определение коэффициента линейного теплового расширения твердых тел [Электронный ресурс]: методические указания / Т.А. Сухова, А.Л. Суркаев //Сборник «Методические указания» Выпуск 3.- [Электронный ресурс]. – Режим доступа [https://volpi.ru/files/vpf/vpf\\_library/new/128.pdf](https://volpi.ru/files/vpf/vpf_library/new/128.pdf)
6. Субботин Е.А., Минина Е.А., Горлов Н.И. Измерения передаточных параметров волоконно-оптических линий передачи. Екатеринбург: Изд-во УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2007.- 223с.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ АОЛС, РАЗВЕРТЫВАЕМОЙ В ИНДУСТРИАЛЬНОМ ГОРОДЕ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: атмосферно-оптическая линия связи, коэффициент готовности.

В статье рассматриваются вопросы оценки влияния различных факторов на коэффициент готовности АОЛС. К таким факторам относятся: затухание оптического сигнала в свободном пространстве, влияние погодных условий и состав атмосферы. Результатом исследования является аналитическое выражения зависимости коэффициента готовности от длины линии связи и факторов.

E.I. Gnilomedov, I.I. Shestakov

## ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE READINESS COEFFICIENT OF AOLS DEPLOYED IN AN INDUSTRIAL CITY

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Keywords: atmospheric-optical communication line, availability coefficient.

The article discusses the issues of assessing the impact of various factors on the readiness coefficient of AOLS. Such factors include: attenuation of the optical signal in free space, the influence of weather conditions and the composition of the atmosphere. The result of the study is an analytical expression of the dependence of the availability coefficient on the length of the communication line and factors.

Показатели надежности АОЛС характеризуются коэффициентом готовности  $K_r$ , значение которого на практике составляет не ниже 0,97 и может достигать 0,9999 [1]. Коэффициент готовности  $K_r$  атмосферно-оптической линии связи (АОЛС) по формуле:

$$K_r = \frac{T_{\text{АОЛС}}}{T_{\text{АОЛС}} + T_{\text{СР.В.}}} \quad (1)$$

где  $T_{\text{АОЛС}}$  – время наработки на отказ АОЛС;  
 $T_{\text{СР.В.}}$  – среднее время восстановления АОЛС.

Наработка на отказ АОЛС  $T_{\text{АОЛС}}$  обратно пропорциональна интенсивности отказа. Среднее время восстановления АОЛС определится по формуле:

$$T_{\text{СР.В.}} = \frac{\lambda_{\text{АК}} \times T_{\text{В.АК.}} + \lambda_{\text{ОБ}} \times N_{\text{ОБ}} \times T_{\text{В.ОБ.}}}{\lambda_{\text{АОЛС}}} \quad (2)$$

где  $T_{\text{В.АК.}}$  – среднее время восстановления атмосферного канала связи;  
 $T_{\text{В.ОБ.}}$  – среднее время устранения повреждения приемо-передающего оптического блока АОЛС;



$\lambda_{AK}$  – интенсивность отказов на одном километре атмосферного канала в час;

$\lambda_{OB}$  – интенсивность отказов приемо-передающего оптического блока в час;

$N_{OB}$  – количество приемо-передающих оптических блоков.

В большей степени коэффициент готовности  $K_{\Gamma}$  зависит от интенсивности отказа атмосферного канала  $\lambda_{AK}$ , поскольку устойчивость работы канала связи зависит от влияния релейского рассеяния оптического сигнала в атмосфере, от «аэрозольного» ослабления мощности лазерного излучения в атмосфере, от молекулярного поглощения лазерного излучения в атмосфере, от турбулентности атмосферы на распространение лазерного излучения, от влияния пространственной расходимости оптических лучей [2], от мощности передатчика и чувствительности приемника. Интенсивность отказов атмосферного канала за 1 час на длине трассы  $L_{AOЛC}$  определяется по формуле [1]:

$$\lambda_{AK} = \frac{\mu \times L_{AOЛC}}{8760 \times 17}, \quad (3)$$

где  $L_{AOЛC}$  – длина проектируемой АОЛС;

8760 – количество часов в году;

17 – длина АОЛС по МДВ (метеорологическая дальность видимости);

$\mu = 0,34$  – среднее число (плотность) отказов АОЛС за счет влияния атмосферных потерь на 17 км АОЛС в год.

Тогда, с учетом допущений того, что интенсивность отказа АОЛС ( $\lambda_{AOЛC}$ ) эквивалентна интенсивности отказа атмосферного канала ( $\lambda_{AK}$ ), величина наработки на отказ АОЛС ( $T_{AOЛC}$ ) будет обратно пропорциональна интенсивности отказа атмосферного канала ( $\lambda_{AK}$ ), а среднее время восстановления АОЛС ( $T_{CP.B.}$ ) будет равным среднему времени восстановления атмосферного канала ( $T_{B.AK.}$ ). При таких условиях, коэффициент готовности АОЛС примет вид:

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{1 + T_{B.AK.} \times \frac{\mu \times L_{AOЛC}}{8760 \times 17}} \quad (4)$$

Среднее время восстановления атмосферного канала ( $T_{B.AK.}$ ) эквивалентно среднестатистическому количеству дней с осадками, например, для города Екатеринбург  $T_{B.AK.} = 3$  часа. При этих условиях, коэффициент готовности АОЛС примет вид:

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{1 + L_{AOЛC} \times 6,8 \times 10^{-6}} \quad (5)$$

Величину  $L_{AOЛC}$ , можно определить из уравнения энергетического баланса системы [3]:

$$\mathcal{E}_{AOЛC} > L_{AOЛC} \times \alpha_{KM} + 20 \lg \frac{L_{AOЛC} \times \alpha_{PACX}}{d_{ПРМ}} + P_{СОБСТ.} \quad (6)$$

где  $\mathcal{E}_{AOЛC} = P_{Tx} - P_{Rx}$  – энергетический потенциал системы АОЛС.

$20 \lg \frac{L_{AOЛC} \times \alpha_{PACX}}{d_{ПРМ}}$  – оптические потери из-за расходимости оптического луча;

$d_{ПРМ}$  – диаметр линзы приемного оптического блока АОЛС;

$\alpha_{PACX}$  – угол расходимости лазерного излучения;

$P_{СОБСТ.}$  – собственные оптические потери системы АОЛС, которые зависят от качества исполнения оптических линз и согласующих устройств приемо-передатчика с оптическим блоком;

$L_{AOЛC}$  – расстояние прямой видимости между оптическими блоками АОЛС;

$\alpha_{KM} = \alpha_{\Pi} + \alpha_{P}$  – сумма погонного затухания  $\alpha_{\Pi}$  и затухания рассеяния  $\alpha_{P}$ .

Погонного затухания  $\alpha_{\text{п}}$  обусловлено поглощением инфракрасного излучения сухим воздухом (кислородом, азотом и аргоном), веществами промышленного происхождения, таких как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , а затухание рассеяния  $\alpha_{\text{р}}$  обусловлено рассеянием света твердыми или жидкими частицами в атмосфере, такими как дымка, пыль, туман, дождь, снег.

В большей степени, на дальность связи сказывается погонного затухания и затухания рассеяния сигнала, поскольку оптические потери из-за расходимости оптического луча можно считать нулевыми, так как оборудование устанавливается на кровле здания или жесткой металлоконструкции мачты, а собственные оптические потери системы АОЛС крайне малы. А из анализа характеристик оборудования АОЛС, где средняя величина энергетического потенциала системы составляет 47 дБ, выражение (5) примет вид:

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{1 + \frac{3,2}{\alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{р}}} \times 10^{-4}} \quad (7)$$

Полученное выражение (7) характерно для линии протяженностью в 1 км, согласно заявленным характеристикам анализируемых параметров оборудования АОЛС поставляемых на территории страны. И учитывая это, для однокилометровой АОЛС, коэффициент готовности зависит не только от интенсивности выпадения гидрометеоров где планируется развертывания сети FSO, но и от концентрации в атмосфере молекул промышленного происхождения, таких как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ .

Так, анализирую метеосводки и загрязнение атмосферы промышленными веществами по городу Екатеринбург [4], коэффициент готовности для этого индустриального города составит 98,89%.

Таким образом, коэффициент готовности АОЛС в индустриальном городе лежит в пределах от 93% до 99%, поскольку ограничивающим фактором является интенсивности выпадения гидрометеоров, а именно тумана, и от концентрации в атмосфере молекул промышленного происхождения, чем оно выше, тем меньше коэффициент готовности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. РД 45.047-99 руководящий документ отрасли. Линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризональных первичных сетях ВСС России. Техническая эксплуатация. Дата введения 01.02.2000.
2. [Гниломедов Е.И. Экспериментальное исследование влияния пространственной ориентации оптических антенн атмосферной оптической линии связи на коэффициент ошибок системы. Сборник статей международной научно-практической конференции НОВЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ. 2016. С. 42-45. \[Электронный ресурс\]. - Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27272352>](#)
3. Воронов В. И., Филиппов В. Л. Атмосферные оптические линии связи: расчет и моделирование устройств, систем и процессов: учебное пособие. - Казань: Новое знание, 2015. 187 с.
4. Ежегодник состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2017 г. [Электронный ресурс]. ФГБУ «ГГО» Росгидромета, 2018. - Режим доступа: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/ezhegodniki/>.

## **ИНФОРМАТИВНОСТЬ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ – КАРТ КОХОНЕНА ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ТИПА МОДУЛЯЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет)» в г. Челябинске (ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ))

Ключевые слова: самоорганизующаяся искусственная нейронная сеть, карта Кохонена, тональная модуляция, распознавание типа модуляции.

В статье дано краткое описание самоорганизующихся искусственных нейронных сетей и принципов построения тональной модуляции; показана возможность эффективного использования самоорганизующихся искусственных нейронных сетей – карт Кохонена для распознавания различных типов модуляции сигнала (тональных амплитудной, частотной, фазовой) в приемных трактах радиотехнических систем.

**M.O. Golovlev, A.N. Ragozin**

## **INFORMATIVITY OF KOHONEN SELF-ORGANIZING MAPS IN IDENTIFICATION OF RADIO SIGNAL MODULATION TYPE**

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “South Ural State University (national research university)” in Chelyabinsk (FSAEИHE SUSU (NRU))

Key words: self-organizing artificial neural network, Kohonen map, tonal modulation, identification of modulation type.

The article gives a brief description of self-organizing artificial neural networks and principles of tonal modulation synthesis; shows the possibility of effective utilization of self-organizing artificial neural networks – Kohonen maps for recognizing various types of signal modulation (tonal amplitude, frequency, phase modulation) in the receiving channels of radio engineering systems.

При обработке больших объемов данных возникают задачи, связанные с исследованием структуры данных, объединением их в группы (кластеры), распределением по классам. Такие задачи могут быть успешно решены с применением самоорганизующихся искусственных нейронных сетей (ИНС), впервые описанных финским ученым Теуво Кохоненом [1]. При этом, важным аспектом применения самоорганизующихся ИНС становится распознавание вида модуляции радиотехнических сигналов в каналах связи, обеспечивающее высокую информативность радиосистемы уже на стадии предварительной обработки поступающих вход такой системы данных.

Самоорганизующиеся ИНС (сети Кохонена) – специальный класс ИНС, основанный на обучении без учителя (то есть, результат обучения зависит только от структуры входных данных). Нейроны данного класса сетей обучаются выявлению групп (кластеров) векторов входа, обладающих некоторыми общими свойствами [2]. Однако разбиение объектов по кластерам осуществляется при одновременном формировании самих кластеров.

В то же время деление самоорганизующихся ИНС происходит на две группы: сети с неупорядоченными нейронами (слои Кохонена) и сети с упорядоченными нейронами (карты Кохонена).

Назначением карт Кохонена является наглядное визуальное представление объектов высокой размерности на двумерной карте (сетке).

Стоит отметить, что в отличие от слоя Кохонена на карте Кохонена нейроны, являющиеся центрами кластеров, упорядочены в определенную структуру (двумерную сетку). В процессе обучения карты, настраиваются веса не только нейрона-победителя, но и его соседей. По результату обучения близкие по некоторому свойству входные векторы в слое Кохонена относятся к одному нейрону, являющемуся центром кластера, а в карте Кохонена могут относиться к разным близко расположенным на сетке нейронам, формирующим единый кластер.

Таким образом, итоговый вид карты Кохонена с распределением входных данных по тем или иным кластерам позволяет оценивать их структуру и выявлять определенные закономерности.

Модуляцией радиотехнических сигналов называется процесс управления одним или несколькими параметрами колебаний высокой частоты в соответствии с законом передаваемого сообщения [3]. В зависимости от того, какой параметр несущего колебания изменяется при модуляции, выделяют амплитудную, частотную и фазовую модуляции.

Амплитудная модуляция (АМ) – вид модуляции, при которой по закону модулирующего сигнала изменяется амплитуда несущего колебания (1):

$$u_{AM}(t) = U_0 [1 + k_{AM} E_m \cos(\Omega_m t + \Theta_m)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = U_0 [1 + M \cos(\Omega_m t + \Theta_m)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1)$$

где:  $E_m, U_0$  – амплитуды модулирующего и несущего колебаний, В;

$k_{AM}$  – коэффициент пропорциональности;

$M$  – коэффициент (глубина) амплитудной модуляции;

$\Omega_m, \omega_0$  – частоты модулирующего и несущего колебаний, рад/с;

$\Theta_m, \varphi_0$  – начальные фазы модулирующего и несущего колебаний, рад.

При частотной модуляции (ЧМ), по закону модулирующего сигнала изменяется мгновенная частота несущего колебания (2):

$$u_{ЧМ}(t) = U_0 \cos \left( \omega_0 t + k_{ЧМ} E_m \int_{-\infty}^t \cos(\Omega_m t + \Theta_m) dt + \varphi_0 \right) = U_0 \cos(\omega_0 t + m_{ЧМ} \sin(\Omega_m t + \Theta_m) + \varphi_0), \quad (2)$$

где:  $E_m, U_0$  – амплитуды модулирующего и несущего колебаний, В;

$k_{ЧМ}$  – коэффициент пропорциональности между частотой и напряжением;

$m_{ЧМ}$  – индекс частотной модуляции;

$\Omega_m, \omega_0$  – частоты модулирующего и несущего колебаний, рад/с;

$\Theta_m, \varphi_0$  – начальные фазы модулирующего и несущего колебаний, рад.

Фазовая модуляция – вид модуляции, при которой по закону модулирующего сигнала изменяется полная фаза несущего колебания (3):

$$u_{ФМ}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + k_{ФМ} E_m \cos(\Omega_m t + \Theta_m) + \varphi_0) = U_0 \cos(\omega_0 t + m_{ФМ} \cos(\Omega_m t + \Theta_m) + \varphi_0), \quad (3)$$

где:  $E_m, U_0$  – амплитуды модулирующего и несущего колебаний, В;

$k_{ФМ}$  – коэффициент пропорциональности между фазой и напряжением;

$m_{ФМ}$  – индекс фазовой модуляции;

$\Omega_m, \omega_0$  – частоты модулирующего и несущего колебаний, рад/с;

$\Theta_m, \varphi_0$  – начальные фазы модулирующего и несущего колебаний, рад.

В исследовании ставится задача оценки информативности самоорганизующейся ИНС – карты Кохонена для распознавания вида модуляции сигнала, передаваемому по радиоканалу системы связи.

При реализации поставленной задачи в процессе моделирования используется подсистема приложения MATLAB Neural Network Toolbox (NNT), предоставляющая широкие возможности тестирования ИНС [4-5].

Рассмотрим сигналы с тональной модуляцией, характеризуемые гармоническим несущим сигналом с частотой  $f_0 = 10$  кГц, амплитудой  $U_0 = 10$  В и нулевой начальной фазой, гармоническим модулирующим сигналом с частотой  $F_m = 500$  Гц и нулевой начальной фазой, а также коэффициентами  $M = 0,6$ ,  $m_{ЧМ} = 10$ ,  $m_{ФМ} = 5$ .

Используется самоорганизующаяся ИНС – карта Кохонена размером  $10 \times 10$  с гексагональной топологией размещения нейронов. Для обучения и моделирования ИНС формируется массив из 1200 модулированных сигналов с соответствующими параметрами; в

массиве сигналов равномерно распределены идентифицируемые виды модуляции (тональные амплитудная (1), частотная (2) и фазовая (3)). Число циклов обучения ИНС равно 500. Размерность каждого сигнала в массиве – 2001 отсчет.

На первом этапе исследования предполагается отсутствие дисперсии параметров модуляции и различных искажающих гауссовских шумов (идеальный случай структуры и распространения в канале радиосвязи информационных сигналов).

Результаты моделирования карты Кохонена на первом этапе исследования (рис. 1, 2, 3):

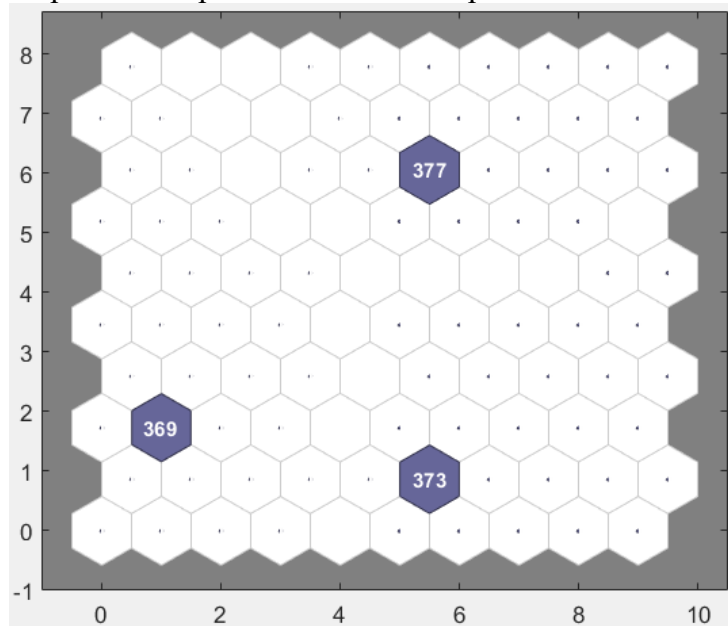


Рис. 1. Карта попаданий обучающих сигналов в кластеры

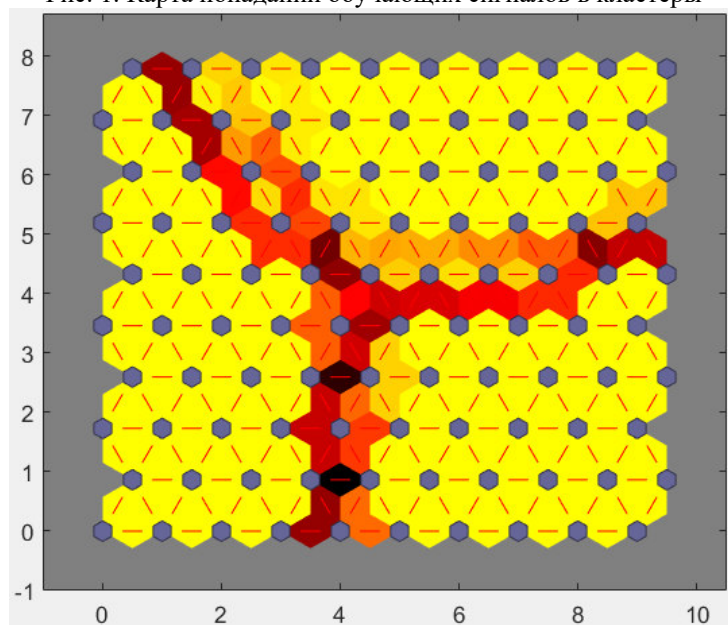


Рис. 2. Унифицированная матрица расстояний между нейронами карты

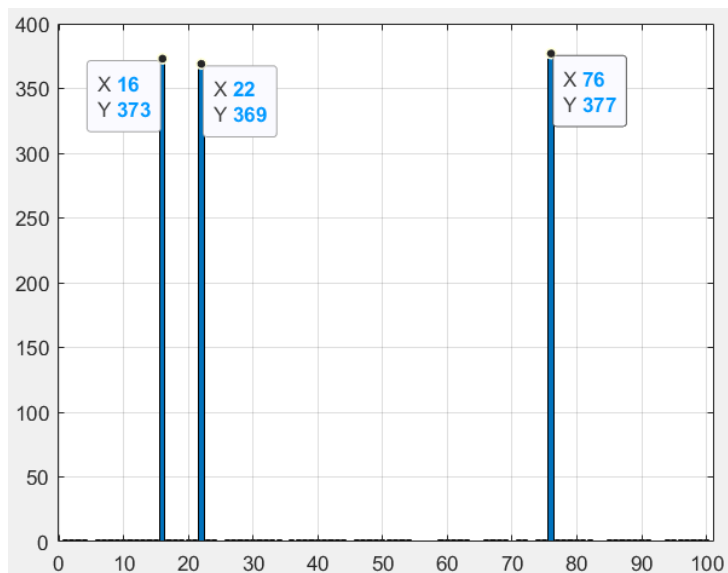


Рис. 3. Столбцовая диаграмма попаданий обучающих сигналов в кластеры

Согласно рис. 1, 2, 3, в результате моделирования были сформированы три отчетливых кластера, центрами которых выступили нейроны №16 (кластер №1), №22 (кластер №2) и №76 (кластер №3) карты Кохонена. Можно увидеть, что каждый сигнал, содержащийся в подготовленном для обучения ИНС массиве, был отнесен к определенному нейрону карты, весовые коэффициенты которого были максимально приближены к отсчетам соответствующего сигнала. При этом, нейроны с наибольшим числом привязанных сигналов сформировали центры кластеров, а нейроны без привязанных сигналов – границу раздела кластеров. Также, это подтверждает унифицированная матрица расстояний между нейронами, в которой более темные цвета характеризуют большие расстояния. При более детальном анализе распределения обучающих сигналов по кластерам (например, при тестировании ИНС на выборочных сигналах из исходного массива), можно заключить, что в кластере №1 содержатся сигналы с тональной фазовой модуляцией, в кластере №2 – сигналы с тональной амплитудной модуляцией, а в кластере №3 – сигналы с тональной частотной модуляцией соответственно.

На втором этапе исследования предполагается наличие дисперсии параметров модуляции и различных искажающих аддитивных гауссовских шумов (реальный случай структуры и распространения в канале радиосвязи информационных сигналов).

Результаты моделирования карты Кохонена на втором этапе исследования (рис. 4, 5):

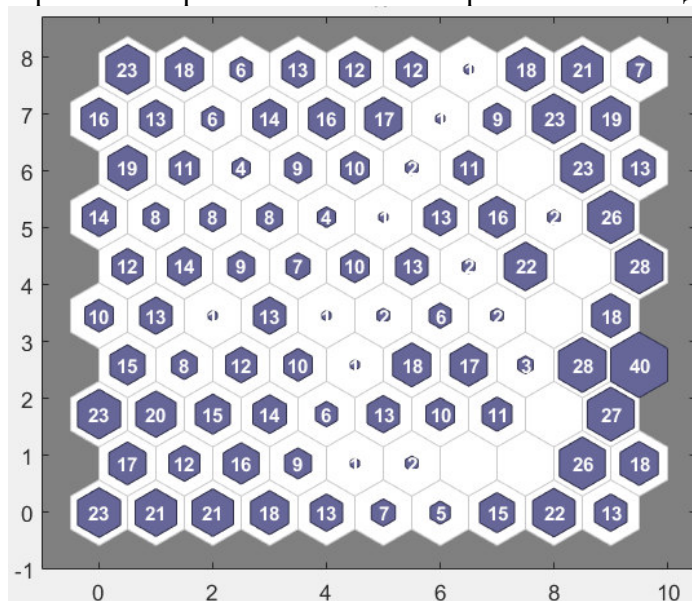


Рис. 4. Карта попаданий обучающих сигналов в кластеры

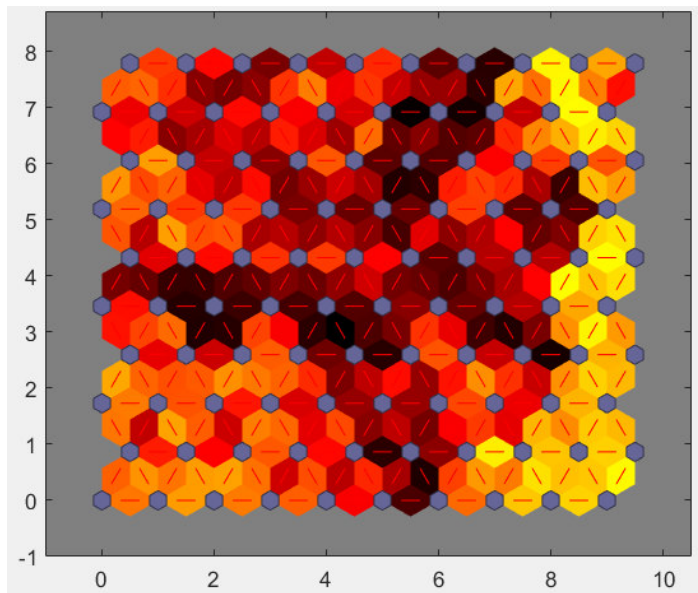


Рис. 5. Унифицированная матрица расстояний между нейронами карты

Согласно рис. 4, 5, в результате моделирования были сформированы два явных кластера, разнесенных влево и вправо от центра карты. Однако, наличие дисперсии в параметрах модуляции, что в действительности может быть вызвано неточностью работы синтезирующих сигналы генераторов, и присутствие гауссовских шумов в качестве аддитивной помехи, что является неизбежным следствием распространения сигнала по каналу радиосвязи, привело к более равномерному распределению обучающих сигналов в каждом из кластеров. При этом стоит отметить, что если структура обучающих сигналов была бы полностью разнородной, то на карте стало бы невозможно выделить какой-либо кластер, так как, к каждому нейрону карты было бы отнесено (привязано) примерно одинаковое количество таких сигналов.

Проведем тестирование обученной карты Кохонена на сигналах, каждый из которых реализует свой вид модуляции, с последующим их зашумлением с отношением сигнал/шум 15 дБ:

$$u_{AM}(t) = 12 \cdot [1 + 0,5 \cos(2\pi \cdot 4,85 \cdot 10^2 t)] \cos(2\pi \cdot 10,05 \cdot 10^3 t);$$

$$u_{ЧМ}(t) = 9 \cdot \cos(2\pi \cdot 10,03 \cdot 10^3 t + 9 \sin(2\pi \cdot 5,1 \cdot 10^2 t));$$

$$u_{ФМ}(t) = 11 \cdot \cos(2\pi \cdot 9,96 \cdot 10^3 t + 4 \cos(2\pi \cdot 5,2 \cdot 10^2 t)).$$

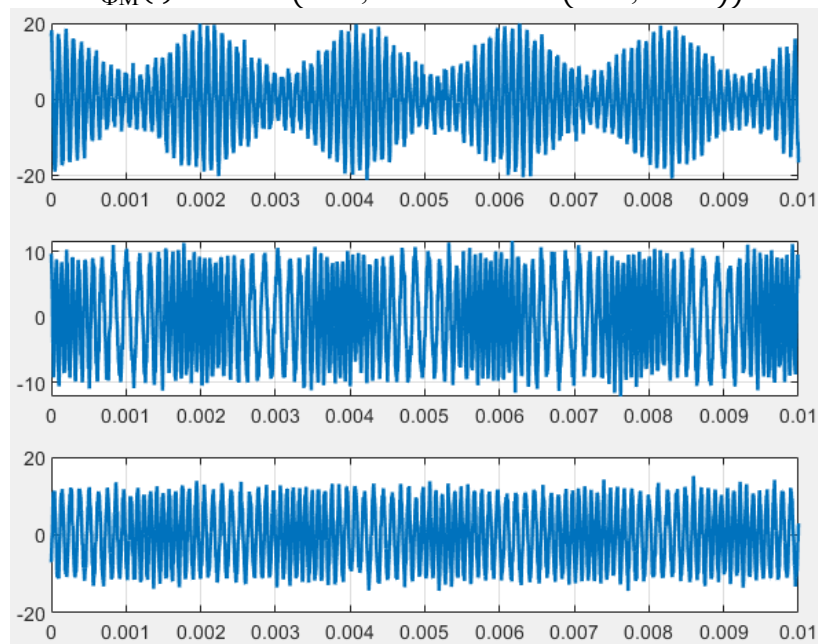


Рис. 6. Осциллограммы тестовых входных сигналов

При моделировании обученной ИНС – карты Кохонена тестовый сигнал с тональной амплитудной модуляцией был отнесен к нейрону №80 (правый кластер), тестовый сигнал с тональной частотной модуляцией был отнесен к нейрону №84 (верхняя часть левого кластера), а тестовый сигнал с тональной фазовой модуляцией был отнесен к нейрону №41 (нижняя часть левого кластера). Таким образом, нейроны правого кластера отвечают за распознавание амплитудной модуляции, а нейроны левого кластера выявляют угловую модуляцию (и частотную, и фазовую), так как, при наличии различных искажений тональные частотная и фазовые модуляции становятся мало различимыми, из-за чего формируется один общий кластер. Тем не менее, рис. 4, 5 показывают определенную неоднородность левого кластера. Это позволяет предположить, что нейронная сеть в присутствии внешних искажений идентифицировала как тональную частотную, так и тональную фазовую модуляции. Результаты последующего тестирования подтверждают предположение.

Таким образом, в проведенном исследовании показано, что с использованием самоорганизующихся ИНС – карт Кохонена возможна успешная идентификация видов модуляции радиотехнических сигналов с сохранением высокой степени информативности даже в условиях влияния внешних искажений на форму и параметры модулированного сигнала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кохонен, Т. Самоорганизующиеся карты / Т. Кохонен; пер. В.Н. Агеева. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 655 с.
2. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин; пер. Н.Н. Куссуль, А.Ю. Шелестова. — М.: Вильямс, 2006. — 1104 с.
3. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. — М.: Высшая школа, 2005. — 462 с.
4. Медведев, В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин; под ред. В.Г. Потемкина. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. — 496 с.
5. Николаева, С.Г. Нейронные сети. Реализация в Matlab: учеб. пособие / С.Г. Николаева. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. — 92 с.



## **ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ КАНАЛОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ<sup>1</sup>**

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)

Ключевые слова: распределенные волоконно-оптические датчики, сдвиг частоты Бриллюэна.

В докладе анализируются возможности применения рассеяний Рэля, Рамана и Мандельштама – Бриллюэна в волоконно-оптическом зондировании физических каналов телекоммуникационных систем. Представлены результаты сравнительного анализа функциональных возможностей анализируемых методов зондирования. Все они способны проводить измерения с высокой пространственной разрешающей способностью и точностью. Эти уникальные особенности метода способствовали тому, что технология стала перспективным кандидатом для практических приложений. Дальнейшее развитие методов продолжается в направлении совершенствования методов регистрации и алгоритмов обработки сигналов обратного рассеяния. В этой связи в докладе особое внимание уделено анализу математического обеспечения датчиков на принципе рассеяния Мандельштама – Бриллюэна.

**N.I. Gorlov**

## **FIBER-OPTIC SENSING PHYSICAL CHANNELS OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS<sup>1</sup>**

Novosibirsk State University of Telecommunications and Informatics (SibSUTIS)

Keywords: distributed fiber-optic sensors, Brillouin frequency shift.

The report analyzes the possibilities of using Rayleigh, Raman and Mandelstam–Brillouin scattering in fiber-optic sensing of physical channels of tele-communication systems. The results of a comparative analysis of the functional capabilities of the analyzed sensing methods are presented. All of them are capable of carrying out measurements with high spatial resolution and accuracy. These unique features of the method have contributed to the fact that the technology has become a promising candidate for practical applications. Further development of the methods continues in the direction of improving registration methods and algorithms for processing backscattering signals. In this regard, the report pays special attention to the analysis of the mathematical support of sensors based on the Mandelstam–Brillouin scattering principle.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время к физическим каналам предъявляются высокие требования по механической прочности в широком температурном диапазоне. Это обуславливает необходимость обнаружения потенциальных опасностей. При этом системы мониторинга должны в режиме реального времени обнаруживать температурные градиенты и деформации в любой координате. Эта проблема в настоящее время успешно решается методом оптического зондирования. Они имеют широкий спектр функциональных возможностей и поэтому в ближайшем будущем найдут широкое применение во многих секторах телекоммуникаций. Бесспорным превосходством исследуемого метода перед другими считается возможность проводить измерения с высокой пространственной разрешающей способностью в широком диапазоне измеряемых параметров. Благодаря этому, исследуемый позволяют реализовать непрерывный прогноз аварийных ситуаций. Он имеет следующие разновидности:

---

<sup>1</sup>Работа выполнена в рамках Государственного задания № 071-03-2022-001

- DAS (Distributed Acoustic Sensing) – это система, использующая рассеяние Рэлея в оптическом волокне стандарта G.652. Анализируемое обратное рассеяние зависит от изменения показателя преломления вследствие акустического воздействия на оптическое волокно. Последовательное соединение датчиков делает возможным значительно расширить радиус мониторинга.

- DTS (Distributed Temperature Sensing) – система измерения градиента температуры на принципе рассеяния Рамана, использующая обычное стандартное одномодовое волокно. Методика проведения измерения основана на определении разницы между компонентами регистрируемого рассеяния. Она обладает хорошим пространственным разрешением и имеет высокую точность измерения.

- DSS (Distributed Strain Sensing) – это тензодатчик на принципе рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Используемое в нём оптическое волокно выступает в роли чувствительного элемента и среды передачи. Измерение основано на регистрации сдвига несущей частоты рассеянного сигнала в зависимости от контролируемых значений деформации и температуры.

#### МЕТОДЫ НА ПРИНЦИПЕ РАССЕЯНИЯ РЭЛЕЯ

Основой функционирования рассматриваемых ниже датчиков является зависимость параметров рассеяния оптического волокна от воздействий окружающей среды. При этом используются рассеяния Рэлея, Рамана и Мандельштама-Бриллюэна [1]. Для этого на вход оптического волокна подается зондирующий сигнал. Обратный рассеянный сигнал обрабатывается по соответствующим алгоритмам с целью идентификации изменений в окружающей среде.

Рассеяние Рэлея используется для измерения параметров передачи оптического волокна. К ним относятся ослабление, помехи и изменения плоскости поляризации. При этом возможны два альтернативных варианта:

1. Зондирование чувствительного волокна импульсными сигналами, известное как оптическая импульсная рефлектометрия во временной области (OTDR- Optical Time-Domain reflectometry).

2. Использование в качестве зондирующего импульса частотно-модулированного непрерывного сигнала, известный как рефлектометр в оптической частотной области (OFDR- Optical Frequency Domain Reflectometry).

Следует отметить, что основной проблемой практической реализации таких датчиков является относительно малый уровень обратно рассеянного по Рэлею сигнала.

Пространственную разрешающую способность обычного импульсного рефлектометра можно оценить по формуле

$$\Delta l = \frac{c_0}{2n} \sqrt{(\Delta t)^2 + (1/\Delta f)^2}, \quad (1)$$

где  $c_0$  – скорость света в свободном пространстве;

$\Delta t$  – длительность зондирующего импульса;

$\Delta f$  – полоса пропускания фотоприемного устройства;

$n$  – коэффициент преломления материала сердцевины оптического волокна.

Максимальный радиус функционирования датчика определяется соотношением:

$$L_{\text{макс}} = \frac{D-4[\text{дБ}]}{\alpha_{\text{пог}}}, \quad (2)$$

где  $D$  – динамический диапазон оптического рефлектометра;

$\alpha_{\text{пог}}$  – погонные потери оптического волокна.

На динамический диапазон и пространственную разрешающую способность в значительной степени влияют собственные шумы рефлектометра. В этой связи были разработаны рефлектометры на принципах корреляционной обработки рефлектограмм [2], кодирования сигналов [3] и подсчета фотонов ( $\nu$ -OTDR) [4]. Особый интерес представляют когерентные оптические рефлектометры. Это решение во временной области получило

название фазочувствительная оптическая рефлектометрия (ф-OTDR, Phase-sensitive Optical Time Domain Reflectometry)[5].

#### МЕТОДЫ НА ПРИНЦИПЕ РАССЕЯНИЯ РАМАНА

Первое предложение по применению метода на основе комбинационного рассеяния света может быть датировано первыми годами 1980-х годов [6]. Системы распределенных датчиков температуры комбинационного рассеяния в основном основаны на отражении во временной области оптического комбинационного рассеяния, реализованном с помощью импульсного лазера и аналоговых приемников. Комбинационное рассеяние является самым слабым и на 10 дБ слабее, чем у Бриллюэна. Поэтому для комбинационного рассеяния требуется собрать и усреднить много обратно рассеянных импульсов, чтобы достичь адекватного уровня SNR.

#### МЕТОДЫ НА ПРИНЦИПЕ РАССЕЯНИЯ БРИЛЛЮЭНА

Спонтанное рассеяние Бриллюэна-еще один неупругий процесс, происходящий в оптических волокнах. Взаимодействие между падающей световой волной и термоиндуцированными флуктуациями плотности материала (акустическими фононами), движущимися вдоль волокна со скоростью звука, является явлением, лежащим в основе процесса рассеяния. При этом взаимодействии согласование длины волны между продольными акустическими фононами и оптической длиной волны входного зонда генерирует два дополнительных сигнала на длинах волн с обеих сторон зонда, как это происходит при комбинационном рассеянии, рисунок 3 [7].

Частотный сдвиг и интенсивность генерируемых сигналов чувствительны как к деформации, так и к температуре. Эта зависимость выражается уравнением:

$$\begin{bmatrix} \Delta\nu_B(T, \varepsilon) \\ \Delta P_B(T, \varepsilon) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{\nu,T} & C_{\nu,\varepsilon} \\ C_{P,T} & C_{P,\varepsilon} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta T \\ \Delta \varepsilon \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где:  $\Delta P_B(T, \varepsilon)$  – изменения мощности в спектре рассеяния Бриллюэна;

$\Delta\nu_B(T, \varepsilon)$  – сдвиг центральной частоты в спектре рассеяния Бриллюэна;

$\Delta T$  – колебания температуры волокна;

$\Delta \varepsilon$  – колебания деформации волокна;

$C_{P,T}$  и  $C_{P,\varepsilon}$  являются соответственно температурными коэффициентами и коэффициентом деформации для рассеивающей способности Бриллюэна;

$C_{\nu,T}$  и  $C_{\nu,\varepsilon}$  также являются коэффициентами температуры и деформации для сдвига частоты Бриллюэна соответственно.

После преобразования формула (3) может быть записана в виде:

$$\begin{bmatrix} \Delta \varepsilon \\ \Delta T \end{bmatrix} = \frac{1}{\begin{vmatrix} C_{\nu,T}^s & -C_{\nu,\varepsilon}^T \\ C_{P,T}^s & C_{P,\varepsilon}^s \end{vmatrix}} \begin{bmatrix} C_{\nu,T}^s & -C_{\nu,\varepsilon}^T \\ -C_{P,T}^T & C_{P,\varepsilon}^s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\nu_B \\ \Delta P_B \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Линейный коэффициент для температуры и деформации выводится с помощью обратной матрицы в (3) и представляется в виде [8]:

$$\Delta T = \frac{|C_{P,\varepsilon}| \cdot \Delta\nu_B + |C_{\nu,\varepsilon}| \cdot \Delta P_B}{|C_{P,T} C_{\nu,\varepsilon} - C_{P,\varepsilon} C_{\nu,T}|} \quad (5)$$

$$\Delta \varepsilon = \frac{|C_{P,T}| \cdot \Delta\nu_B + |C_{\nu,T}| \cdot \Delta P_B}{|C_{P,T} C_{\nu,\varepsilon} - C_{P,\varepsilon} C_{\nu,T}|} \quad (6)$$

Для реализации датчиков спонтанное рассеяние Бриллюэна похоже на спонтанное комбинационное рассеяние. Наиболее простой подход для обнаружения спонтанного рассеяния Бриллюэна на самом деле такой же, как и для OTDR на основе комбинационного рассеяния, и термин оптический рефлектометр Бриллюэна во временной области (BOTDR) правильно

относится к исследованию временной области обратного распространения спонтанного рассеяния Бриллюэна. Интенсивность сигнала обратного рассеяния в спонтанном Бриллюэне существенно выше, чем в рамановском, хотя и менее чувствительна к температуре, что делает обнаружение менее критичным. Типичные коэффициенты чувствительности сдвига частоты Бриллюэна к деформации и температуре в одномодовых волокнах с индексом шага составляют 0,046 МГц./мкэ и 1,07 МГц./°С соответственно. Что касается интенсивности, то вместо этого мы имеем  $-0.0008\%/мкэ$  и  $0.36\%/°С$ , соответственно [9].

На протяжении многих лет все эти функции способствовали распространению рассеяния Бриллюэна как наиболее распространенной и изученной платформы распределенного зондирования во многих практических приложениях. С помощью схем BOTDR можно достичь дальности в несколько десятков километров с пространственным разрешением порядка 1 м.

Для достижения цели распределенного зондирования можно использовать другой процесс рассеяния Бриллюэна, а именно стимулированное рассеяние Бриллюэна (SBS). Когда на двух концах волокна запускаются две встречно распространяющиеся волны, разделенные частотой Бриллюэна. Они взаимодействуют друг с другом, что приводит к стимуляции процесса рассеяния. Свет на более низкой частоте затем усиливается за счет передачи энергии от волны более высокой частоты.

Импульсный свет накачки и зонд с непрерывной волной, вводимые на двух концах волокна, необходимы для создания стимулированного рассеяния Бриллюэна. Результирующее усиление зондирующего света, обнаруженное на входе волокна, снова зависит от температуры и деформации. Целью обнаружения для этого типа датчиков на основе Бриллюэна является временная эволюция коэффициента усиления, возникающего в результате взаимодействия двух встречных сигналов, и этот метод называется оптическим анализом временной области Бриллюэна (BOTDA) [10].

Стоит отметить, что все коммерческие реализации DOFSS на основе Бриллюэна являются схемами на основе BOTDR или BOTDA. В частности, решение на основе BOTDR, требующее доступа только с одного конца оптоволокна, является единственным жизнеспособным решением во многих приложениях, где одностороннее развертывание является единственным возможным выбором. Напротив, когда оба конца волокна доступны, технология, основанная на BOTDA, обычно демонстрирует лучшую производительность.

Очень интересной особенностью схемы BOTDA является то, что она может измерять очень большое количество точек измерения на больших расстояниях. Действительно, при надлежащей реализации он может работать на расстоянии 100 км или более; например, с использованием комбинационного усиления или методов кодирования импульсов. Собственное пространственное разрешение в этом диапазоне ограничено приблизительно 1 м из-за уменьшения времени отклика на акустические волны. Соответственно, с помощью схем BOTDA можно измерить несколько десятков тысяч точек измерения. Многие оптические методы также были внедрены за эти годы для улучшения пространственного разрешения. Насколько нам известно, пространственное разрешение в несколько миллиметров на расстоянии нескольких километров представляет собой один из лучших результатов, достигнутых до сих пор.

Для дальнейшего увеличения числа точек зондирования в большем диапазоне на протяжении многих лет предлагались другие методы, основанные на стимулированном рассеянии Бриллюэна. Наиболее перспективным методом на данный момент является оптический корреляционный анализ области Бриллюэна, который позволяет проводить измерения в диапазоне 10 км и более с разрешением не хуже 1 см [10].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Волоконно-оптические датчики представляют собой мощный инструмент для распределенного измерения напряжения и температуры. С технологической точки зрения, нынешнее поколение DOFSs представляет собой революцию с точки зрения количества точек измерения по сравнению с обычной технологией одноточечных контактных датчиков. Пространственное разрешение и диапазон расстояний в настоящее время достаточны

для большинства практических приложений, связанных со статическими механическими воздействиями. Главными проблемами остаются следующие:

- необходимость обеспечения надлежащих мер предосторожности, чтобы избежать повреждения оптического кабеля во время эксплуатации в неблагоприятной среде в течение многих лет;
- одновременное измерение температуры и напряжения в стандартном одномодовом волокне с пространственным разрешением сантиметр;
- динамическое измерение с высокой скоростью и пространственным разрешением сантиметр при большой длине зондирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Schenato L. A Review of Distributed Fibre Optic Sensors for Geo-Hydrological Applications, *Appl. Sci.* 2017, 7, pp. 896-938.
2. Wang, Z.; Fan, M.; Zhang, L.; Wu, H.; Churkin, D.; Li, Y.; Qian, X.; Rao, Y. Long-range and high-precision correlation optical time-domain reflectometry utilizing an all-fiber chaotic source. *Opt. Express* 2015, 23, pp.15514–15520.
3. Zhang, L.; Pan, B.; Chen, G.; Lu, D.; Zhao, L. Long-range and high-resolution correlation optical time-domain reflectometry using a monolithic integrated broadband chaotic laser. *Appl. Opt.* 2017, 56, pp.1253–1256.
4. Eraerds, P.; Legré, M.; Zhang, J.; Zbinden, H.; Gisin, N. Photon Counting OTDR: Advantages and Limitations. *J. Lightwave Technol.* 2010, 28, pp.952–964.
5. Koyamada, Y.; Imahama, M.; Kubota, K.; Hogari, K. Fiber-Optic Distributed Strain and Temperature Sensing With Very High Measurand Resolution Over Long Range Using Coherent OTDR. *J. Lightwave Technol.* 2009, 27, pp.1142–1146.
6. Dakin, J.P.; Pratt, D.J.; Bibby, G.W.; Ross, J.N. Distributed optical fibre Raman temperature sensor using a semiconductor light source and detector. *Electron. Lett.* 1985, 21, pp.569–570.
7. Shibata, N.; Waarts, R.G.; Braun, R.P. Brillouin-gain spectra for single-mode fibers having pure-silica, GeO<sub>2</sub>-doped, and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-doped cores. *Opt. Lett.* 1987, 12, pp.269–271.
8. Maughan, S.M.; Kee, H.H.; Newson, T.P. Simultaneous distributed fibre temperature and strain sensor using microwave coherent detection of spontaneous Brillouin backscatter. *Meas. Sci. Technol.* 2001, 12, pp.834–842.
9. Belal M., T. P. Newson T.P., Experimental Examination of the Variation of the Spontaneous Brillouin Power and Frequency Coefficients Under the Combined Influence of Temperature and Strain, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 30, NO.8, pp.1250-1255, May, 2013.
10. Luo J., Hao Y., Ye Q., L.Li L, Development of Optical Fiber Sensors Based on Brillouin Scattering and FBG for On-Line Monitoring in Overhead Transmission Lines», *Journal of Lightwave Technology*, vol. 31, NO10, pp.1559-1565, May, 2013.

## **ИНФОРМАТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ФУРЬЕ И ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Челябинске

В статье рассмотрены два метода частотно-временного анализа сигналов: оконное преобразование Фурье и вейвлет-преобразование. Описаны математические модели осуществления преобразований для ясного понимания различий обработки сигнала. Произведено сравнение применения этих преобразований и отмечены преимущества и недостатки в задачах диагностики технических систем.

Ключевые слова: Фурье-преобразование, вейвлет-преобразование, техническая диагностика.

**M.D. Efimov A.N. Ragozin**

## **INFORMATIVENESS OF FOURIER AND WAVELET SIGNAL CONVERSION METHODS IN THE TASKS OF DIAGNOSTICS OF TECHNICAL SYSTEMS**

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "South Ural State University (National Research University)" of the Federal State Educational Institution of Higher Education "SUSU (NRU)" in Chelyabinsk

The article considers two methods of time-frequency analysis of signals: the windowed Fourier transform and the wavelet transform. Mathematical models of transformation implementation are described for a clear understanding of the differences in signal processing. The comparison of the application of these transformations is made and the advantages and disadvantages of the tasks of diagnostics of technical systems are noted.

Keywords: Fourier transform, wavelet transform, technical diagnostics.

В настоящее время существуют различные математические преобразования, применяемые к сигналу для того, чтобы извлечь из сигнала неизвестную при временном представлении информацию, а именно представление в частотной области сигнала. Частотный спектр сигнала дает представление о гармонических составляющих сигнала. Почти все сигналы изменяются со временем, поэтому помимо частотного спектра сигнала, производят частотно-временной анализ сигнала для того, чтобы представить, как изменяется частотный спектр сигнала с течением времени. С этими данными в последующем решаются задачи технической диагностики.

В работе рассматриваются два способа частотно-временного представления (ЧВП) сигнала: метод оконного преобразования Фурье (ОПФ) и вейвлет-преобразования (ВП).

На рис. 1 изображен наблюдаемый нестационарный сигнал.

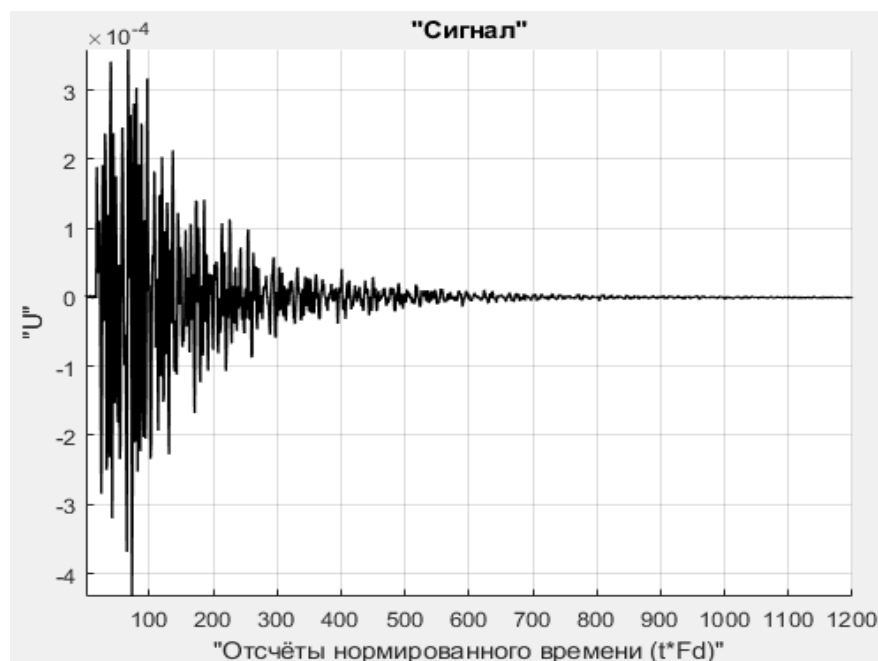


Рис. 1. Представление наблюдаемого сигнала в нормированном времени

При формировании ЧВП наблюдаемого сигнала с помощью ОПФ временной интервал сигнала разбивается на более короткие интервалы с фиксированным шагом, к которым последовательно применяется процедура быстрого преобразования Фурье. Оконный метод реализуется с использованием окна Хэмминга. От ширины окна зависят разрешения по частоте и времени, чем уже окно, тем хуже частотное разрешение, но выше разрешение по времени, и наоборот, чем шире окно, тем лучше частотное разрешение и хуже разрешение по времени. Результат ЧВП исследуемого сигнала представлен на рис. 2.

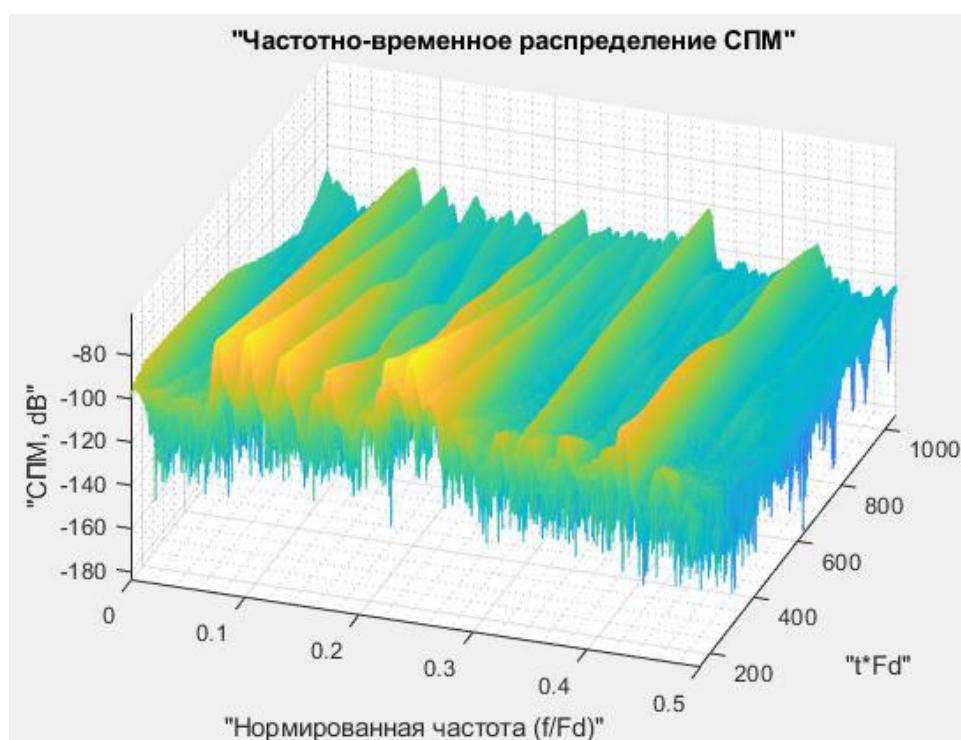


Рис. 2. ЧВП сигнала, изображенного на рис. 1

Для анализа сигнала с помощью ВП выбирается материнский вейвлет, который будет подобием окна в примере с ЧВП, но в этом случае функция окна будет сжиматься или расширяться во временном масштабе, таким образом, при увеличении масштаба, уменьшается исследуемая частота, и наоборот. Метод вейвлет-преобразования реализуется с помощью вейвлет-функции мексиканская шляпа, форма которой изображена на рис. 3.

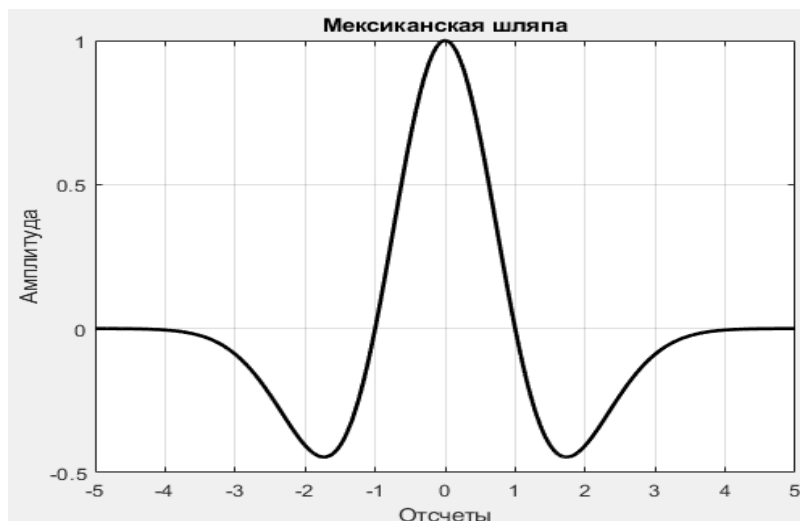


Рис. 3. Применяющаяся в исследовании вейвлет-функция

Анализ начинается со значения масштаба, равного 1. Функция вейвлета умножается на сигнал и интегрируется на временном интервале, интеграл делится на корень квадратный из значения масштаба для того, чтобы сигнал в каждом масштабе имел одинаковую энергию. После этого функция вейвлета сдвигается во времени на интервал времени и действия повторяются, пока вейвлет-функция не достигнет конца сигнала. Затем масштаб вейвлета увеличивается на определенное значение и весь процесс повторяется. Результат вейвлет анализа сигнала представлен на рис. 4.

На рис.5 представлены два различающиеся по временной структуре сигнала, а также их ЧВП с использованием преобразования Фурье и ВП сигналов.

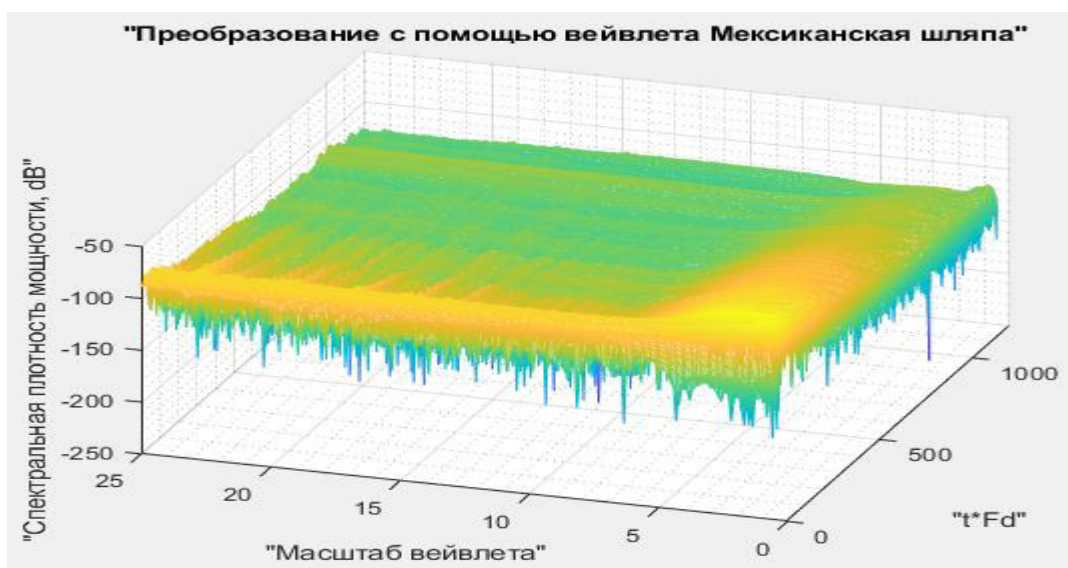


Рис. 4. Распределение энергии во времени сигнала и масштабе вейвлет-функции



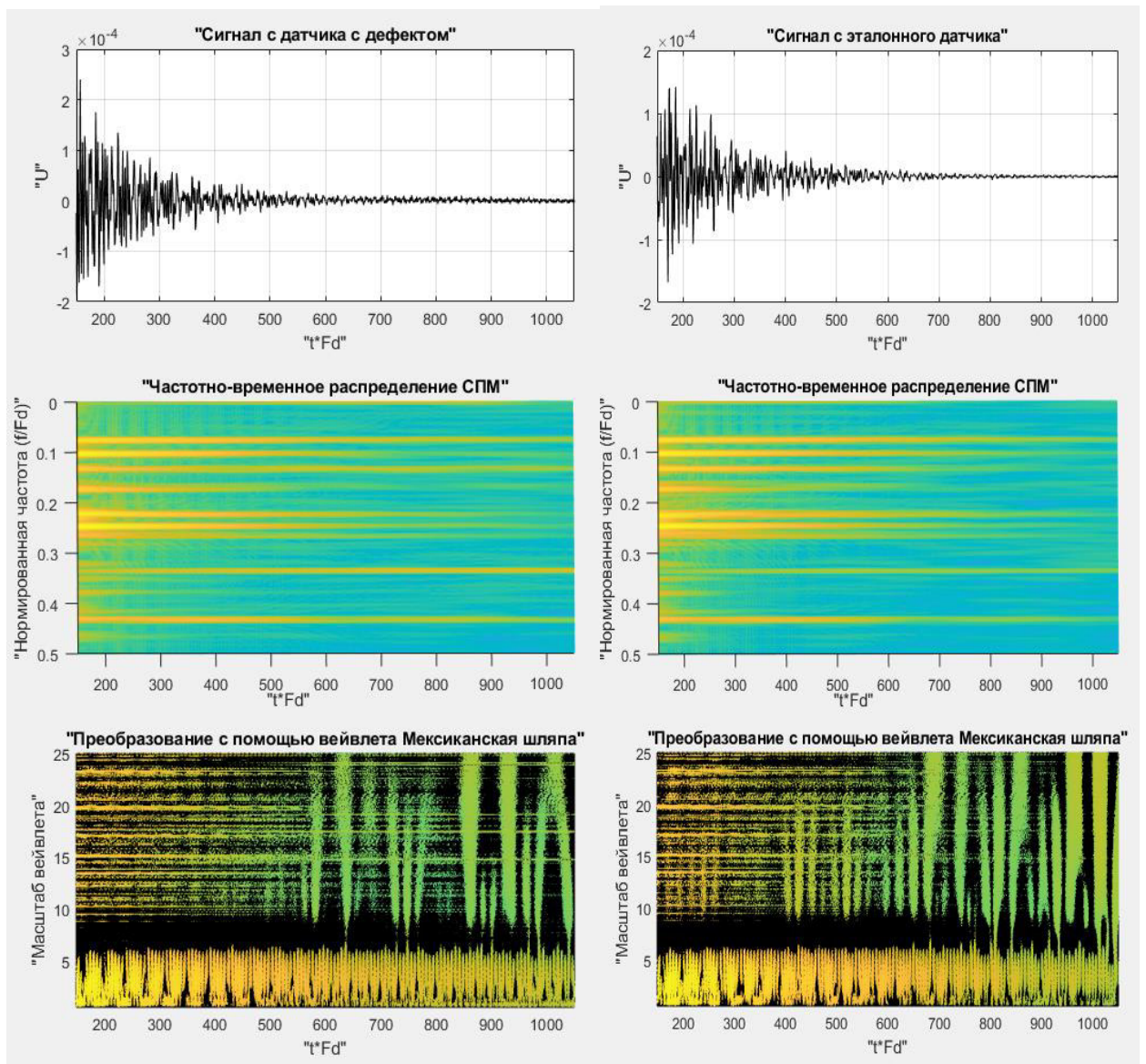


Рис. 5. Вид сверху распределения энергии сигналов с Фурье и вейвлет преобразованиями и изображение сигналов во временном представлении

Вейвлет-преобразование, в отличие от ОПФ, имеет различную длину окна в масштабах одного представления, что говорит о том, что ВП имеет различную разрешающую способность на графике распределения энергии сигнала. Поэтому преобразование рассчитывается для каждой спектральной компоненты отдельно.

Из рис. 5 следует отметить, что ВП в области высоких частот, то есть, когда вейвлет-функция представляет собой узкое окно, обеспечивает четкое обозначение границ интервалов и высокое временное разрешение, но пики частот в таком случае имеют большую ширину. При увеличении ширины окна ВП ширина пиков по частотной оси уменьшается, но временные интервалы перекрываются. Таким образом, можно сделать вывод о том, что ОПФ дает более равномерное представление о частотном спектре сигнала на всем интервале исследуемых частот, а разрешение по частотам и времени при ВП носит характер неопределенности Гейзенберга, при увеличении точности по частоте уменьшается точность по времени и наоборот. Но ВП дает более четкое представление о форме сигнала, как видно из рис.5.

Для более четкого понимания различий ОПФ и ВП было проведено исследование сигнала с двух тензометрических датчиков давления: с исправной и неисправной мембраной. Из рис. 5 следует, что ОПФ на графике имеет незначительные различия между сигналом с исправного датчика и с неисправного датчика, в то время как ВП имеет существенные различия, то есть более информативен. При наличии достаточной базы данных по сигналам с датчиков, можно выявлять датчики, имеющие различные дефекты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Павлейно М.А., Ромаданов В.М. Спектральные преобразования в MATLAB. – СПб., 2007.- 160 с.
2. MATLAB Documentation. Wavelet Toolbox. Advanced Concepts.– The MathWorks, Inc., 2007 (<http://www.mathworks.com>)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДУБЛИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)

Ключевые слова: дублированная система, показатели надежности, матрица интенсивностей, марковская модель, циклическое функционирование системы.

В статье рассматриваются различные подходы применения марковских моделей для описания и исследования функционирования технических систем, использующих резервные элементы, которые полностью дублируют выполняемые функции основных элементов. Приведены выражения для оценки параметров надежности таких систем, в частности, коэффициентов готовности и простоя, а также отмечены результаты сравнения показателей надежности дублированных систем и систем без использования резервных элементов.

**B.P. Zelentsov, I.G. Kvitkova, D.D. Kalmykova**

## INVESTIGATION OF THE DUPLICATED SYSTEM FUNCTIONING USING THE MARKOV MODELS

Siberian State University of Telecommunications and Informatics (SibGUTI)

Keywords: duplicated system, dependability indicators, intensity matrix, Markov model, cyclic functioning of the system.

The article considers various approaches of using Markov models to describe and analyze the functioning of technical systems using redundant elements that completely duplicate the main elements performed functions. Expressions are given to evaluate the reliability parameters of such systems, in particular, the availability and unavailability factors, and also a result of comparing the reliability indicators of duplicated systems and systems without the use of backup elements is marked.

В настоящее время создание и внедрение сложных технических систем постепенно становится повседневной задачей. Это связано с тем, что возрастают потребности населения к функциональности устройств и систем, а также к безотказности их работы. Особенно это заметно в области инфокоммуникационных технологий и систем связи. Объемы передаваемой и потребляемой пользователем информации увеличиваются. Растут и требования к надежности оборудования систем и сетей связи, а также и к самим сетям. Для обеспечения требуемого уровня надежности используются системы с резервными элементами, позволяющие сохранить работоспособность при отказе основных элементов. Различные методы расчета надежности технических систем приведены в [1, 2] и других источниках

В данной статье рассматривается дублированная система, которая состоит из двух элементов (устройств). Один из элементов будем считать основным, а второй элемент – резервным. Элементы полностью дублируют выполняемые функции. Система работоспособна, если работоспособен хотя бы один элемент, и система отказывает, если отказывают оба элемента. Если отказывает основной элемент, то его функции выполняет работоспособный резервный элемент. Отказы основного и резервного элементов обнаруживаются при их возникновении. Система является восстанавливаемой, то есть после отказа оба элемента восстанавливаются. Выберем вариант такой системы в соответствии со следующими особенностями.

Особенности, связанные с безотказностью и функционированием элементов:

1) если оба элемента работоспособны, то функционирует основной элемент, а резервный находится в ненагруженном (холодном) режиме; в этом состоянии отказать может только основной элемент, а резервный отказать не может;

2) если работоспособен только один элемент, то он и функционирует, при этом он может отказать.

Особенности, связанные с восстановлением:

1) имеется один восстанавливающий орган (случай ограниченного восстановления), что означает: одновременно может восстанавливаться только один элемент;

2) восстановление основного элемента начинается одновременно с его отказом;

3) приоритет в восстановлении имеет основной элемент, то есть при отказе двух элементов сначала восстанавливается основной элемент, а затем – резервный.

Для упрощения задачи будем полагать, что основной и резервный элементы имеют одинаковые характеристики безотказности и ремонтпригодности: интенсивность отказов обозначена через  $\lambda$ , а интенсивность восстановления – через  $\mu$ .

Состояния (фазы) эксплуатации элементов обозначаются следующим образом:  $\Phi$  – функционирование работоспособного элемента;  $H$  – неработоспособное состояние элемента;  $X$  – холодный (ненагруженный) режим резервного элемента;  $B$  – восстановление элемента. На графе состояний, приведенном на рис. 1, индекс при этих состояниях указывает элемент: для основного элемента используется индекс 1, а для резервного – индекс 2.

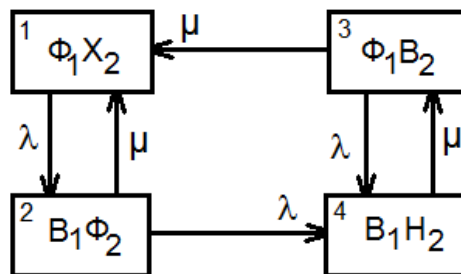


Рис. 1. Граф состояний дублированной системы

Состояния дублированной системы обозначены такой комбинацией букв и индексов, чтобы эта комбинация полностью характеризовала состояние системы. Возможны следующие состояния системы:  $\Phi_1X_2$  – основной элемент функционирует, а резервный находится в холодном (ненагруженном) режиме;  $B_1\Phi_2$  – резервный элемент функционирует, а основной восстанавливается;  $\Phi_1B_2$  – основной элемент функционирует, а резервный восстанавливается;  $B_1H_2$  – основной элемент восстанавливается, а резервный находится в неработоспособном состоянии (ожидает начала восстановления). Переходы от состояния к состоянию показаны на рис. 1.

В состоянии 1 может отказать только основной элемент (переход в состояние 2). В состоянии 2 функционирует резервный элемент, а основной элемент восстанавливается. Функционирующий резервный элемент может отказать с интенсивностью  $\lambda$ , что вызывает переход в состояние 4, в котором продолжается восстановление основного элемента, а неработоспособный резервный элемент «стоит в очереди на восстановление». После завершения восстановления основного элемента происходит переход в состояние 3, где восстановление переключается на резервный элемент ( $B_2$ ), а функционирующий основной может опять отказать с интенсивностью  $\lambda$ , что вызывает переход в состояние 4, в котором в соответствии с приоритетом сначала восстанавливается основной элемент, а резервный, находясь в неработоспособном состоянии, «стоит в очереди на восстановление». Очевидно, что в состояниях 1, 2 и 3 система работоспособна, а в состоянии 4 – неработоспособна.

Следует отметить, что рассмотренный здесь пример является достаточно простым. В реальных дублированных системах элементы системы имеют разные интенсивности отказов и восстановления, что обусловлено их разной конструкцией, они могут быть продуктом разных фирм, произведены в разное время, имеют разную технологию и трудоемкость устранения от-

казов. Кроме того, могут быть более сложные связи между элементами и их состояниями, например, элементы системы могут быть охвачены контролем технического состояния и профилактическим обслуживанием.

Приведенные ниже подходы моделирования функционирования рассматриваемой системы описаны в [5].

Найдем предельные вероятности состояний и на их основе вычислим коэффициенты готовности и простоя (неготовности) системы. Данные параметры являются показателями надежности в соответствии с [3, 4]. Для этого составим матрицу интенсивностей:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} -\lambda & \lambda & 0 & 0 \\ \mu & -(\lambda + \mu) & 0 & \lambda \\ \mu & 0 & -(\lambda + \mu) & \lambda \\ 0 & 0 & \mu & -\mu \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Соответствующие определители, полученные из матрицы  $\Lambda$ :

$$\Delta_1 = -(\lambda + \mu) \cdot \mu^2, \Delta_2 = -\lambda \cdot \mu^2, \Delta_3 = -\lambda^2 \cdot \mu, \Delta_4 = -(\lambda + \mu) \cdot \lambda^2. \quad (2)$$

Определители в (2) получают удалением  $i$ -х ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) строки и столба из матрицы интенсивностей (1).

Предельные вероятности состояний вычисляются как отношение соответствующего определителя из (2) к сумме определителей:

$$\pi_1 = \mu^2 / (\lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2), \pi_2 = \pi_3 = \lambda\mu^2 / [(\lambda + \mu) \cdot (\lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2)], \pi_4 = \lambda^2 / (\lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2). \quad (3)$$

Коэффициенты готовности и простоя (неготовности) системы определяются через выражения из (3):

$$K_{\Gamma} = \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = \mu \cdot (\mu + \lambda) / (\lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2), K_{\Pi} = \pi_4 = \lambda^2 / (\lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2). \quad (4)$$

Для значений  $\lambda = 0.01$  1/час и  $\mu = 1$  1/час получаем следующие значения предельных вероятностей состояний в соответствии с выражениями из (3):  $\pi_1 = 0.9900$ ,  $\pi_2 = 0.0098$ ,  $\pi_3 = 0.0001$ ,  $\pi_4 = 0.0001$ .

Значения коэффициентов готовности и простоя в соответствии с выражениями из (4):  $K_{\Gamma} = 0.9999$ ,  $K_{\Pi} = 0.0001$ .

Для сравнения найдем коэффициенты готовности и простоя одного восстанавливаемого устройства, граф состояний которого приведен на рис. 2:

$$K_{\Gamma}^* = \pi_1 = \mu / (\mu + \lambda), K_{\Pi}^* = \pi_2 = \lambda / (\mu + \lambda). \quad (5)$$

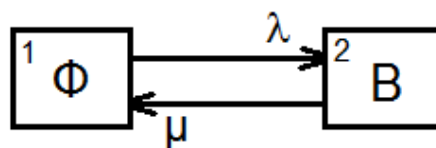


Рис. 2. Граф состояний одного восстанавливаемого устройства

Для значений  $\lambda = 0.01$  1/час и  $\mu = 1$  1/час получаем из (5):  $K_{\Gamma}^* = 0.99$ ,  $K_{\Pi}^* = 0.01$ .

Эффект от использования дублирования выразим в виде отношения коэффициентов простоя:

$$Eff = K_{\Pi} / K_{\Pi}^* = (\alpha + \alpha^2) / (1 + \alpha + \alpha^2), \quad (6)$$

где  $\alpha = \lambda/\mu$  – отношение интенсивностей отказов и восстановления.

Для приведенных значений  $\lambda$  и  $\mu$  из (6) получаем  $Eff = 0.01$ , то есть коэффициент простоя дублированной системы уменьшается в 100 раз по сравнению с коэффициентом простоя одного элемента с такими же исходными параметрами.

Разобьем множество состояний на два подмножества по признаку безотказности: подмножество работоспособных состояний  $U = \{1, 2, 3\}$  и подмножество неработоспособных состояний  $V = \{4\}$ . Соответствующие подматрицы интенсивностей имеют вид:

$$\Lambda_{UU} = \begin{pmatrix} -\lambda & \lambda & 0 \\ \mu & -(\lambda + \mu) & 0 \\ \mu & 0 & -(\lambda + \mu) \end{pmatrix}, \Lambda_{UV} = \begin{pmatrix} 0 \\ \lambda \\ \lambda \end{pmatrix}, \Lambda_{VU} = (0 \ 0 \ \mu), \Lambda_{VV} = (-\mu). \quad (7)$$

Определим выражение для вычисления математического ожидания и дисперсии времени нахождения в подмножестве работоспособных состояний. Для любых начальных условий следует находить матрицу  $T_U$  путем обращения матрицы  $\Lambda_{UU}$  из (7). Матрица  $T_U$  имеет вид:

$$T_U = -\Lambda_{UU}^{-1} = \begin{pmatrix} (\lambda + \mu) / \lambda^2 & 1 / \lambda & 0 \\ \mu / \lambda^2 & 1 / \lambda & 0 \\ \mu / \lambda^2 & \mu / \lambda(\lambda + \mu) & 1 / (\lambda + \mu) \end{pmatrix}.$$

В таблице 1 приведены формулы для математического ожидания и дисперсии времени нахождения в подмножестве  $U$  при трех начальных условиях:

- 1) состояние 1 является начальным,  $\bar{r}_U = \bar{r}_1$ ;
- 2) состояние 2 является начальным,  $\bar{r}_U = \bar{r}_2$ ;
- 3) состояние 3 является начальным,  $\bar{r}_U = \bar{r}_3$ .

Таблица 1. Формулы для вычисления математического ожидания  $t_U$  и дисперсии  $D_U$  времени нахождения в подмножестве  $U$  при разных начальных условиях

Начальное условие $\bar{r}_i$	Математическое ожидание $t_U$	Дисперсия $D_U$
$\bar{r}_1 = (1 \ 0 \ 0)$	$(2\lambda + \mu) / \lambda^2$	$(2\lambda^2 + 4\lambda\mu + \mu^2) / \lambda^4$
$\bar{r}_2 = (0 \ 1 \ 0)$	$(\lambda + \mu) / \lambda^2$	$(\lambda^2 + 4\lambda\mu + \mu^2) / \lambda^4$
$\bar{r}_3 = (0 \ 0 \ 1)$	$(\lambda + \mu) / \lambda^2$	$(\lambda^2 + 4\lambda\mu + \mu^2) / \lambda^4$

Из таблицы 1 видно, что значения характеристик подмножества  $U$  зависят от начального состояния. Однако, насколько существенна эта зависимость, определяется также значениями исходных параметров (в данном случае  $\lambda$  и  $\mu$ ).

В таблице 2 приведены значения математического ожидания  $t_U$  и среднего квадратического отклонения  $\sigma_U$  для двух вариантов значений параметров  $\lambda$  и  $\mu$  (значения приведены в часах).

Таблица 2. Значения математического ожидания  $t_U$  и среднего квадратического отклонения  $\sigma_U$  времени нахождения в подмножестве  $U$  при разных начальных условиях  $\lambda$  и  $\mu$

Значения исходных параметров	$\lambda = 0.1 \text{ 1/час}$ и $\mu = 1 \text{ 1/час}$		$\lambda = 0.01 \text{ 1/час}$ и $\mu = 1 \text{ 1/час}$	
	$t_U$	$\sigma_U$	$t_U$	$\sigma_U$
Начальное условие $\bar{r}_i$				
$\bar{r}_1 = (1 \ 0 \ 0)$	120	119	10200	10200
$\bar{r}_2 = (0 \ 1 \ 0)$	110	119	10100	10200
$\bar{r}_3 = (0 \ 0 \ 1)$	110	119	10100	10200

В данной системе при заданных значениях интенсивности отказов и интенсивности восстановления среднее время безотказной работы  $t_U$  и среднее квадратическое отклонение этого времени  $\sigma_U$  практически не зависят от начального состояния. Кроме того, их значения практически совпадают. Это свидетельствует о том, что время безотказной работы рассматриваемой дублированной системы можно считать распределенным по показательному закону при любом начальном состоянии.

Рассмотрим циклическое функционирование системы. Матрицы вероятностей попаданий  $B_{UV}$  и  $B_{VU}$  и матрицы вероятностей возвращения  $A_U$  и  $A_V$  соответственно:

$$B_{UV} = -\Lambda_{UV}^{-1} \cdot \Lambda_{UV} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, B_{VU} = -\Lambda_{VV}^{-1} \cdot \Lambda_{VU} = (0 \ 0 \ 1),$$

$$A_U = B_{UV} \cdot B_{VU} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, A_V = B_{VU} \cdot B_{UV} = (1).$$

Предельные распределения вероятностей возвращения имеют вид:

$$\bar{r}_U = (0 \ 0 \ 1), \bar{r}_V = (1).$$

Средние времена нахождения в подмножествах состояний:

$$t_U = -\bar{r}_U \cdot \Lambda_{UV}^{-1} \cdot e = (\lambda + \mu) / \lambda^2, t_V = -\bar{r}_V \cdot \Lambda_{VV}^{-1} \cdot e = 1 / \mu, \quad (8)$$

где  $e$  – единичная матрица.

В рассматриваемой модели  $t_U$  имеет смысл среднего времени безотказной работы, а  $t_V$  – среднего времени восстановления. Среднее время цикла:

$$t_{UV} = t_U + t_V = (\lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2) / \lambda^2 \mu, \quad (9)$$

Используя (8) и (9), получим коэффициенты готовности и простоя системы:

$$K_{\Gamma} = t_U / t_{UV} = \mu \cdot (\mu + \lambda) / (\lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2), K_{\Pi} = t_V / t_{UV} = \lambda^2 / (\lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2),$$

что согласуется с ранее полученными выражениями (4).

Эти показатели в числах при  $\lambda = 0.01$  1/час и  $\mu = 1$  1/час:  $t_U = 10000$  час,  $t_V = 1$  час,  $t_{UV} = 10001$  час,  $K_{\Pi} = t_V / t_{UV} = 0.0001$ .

Рассмотрим возможность укрупнения состояний.

Усеченные матрицы вероятностей возвращения:  $A_U^+ = (1)$ ,  $A_V^+ = (1)$

Предельные распределения вероятностей возвращения:  $\bar{r}_U^+ = (1)$ ,  $\bar{r}_V^+ = (1)$ .

Усеченные матрицы средних времен нахождения в состояниях:

$$T_U^+ = \begin{pmatrix} \frac{\mu}{\lambda^2} & \frac{\mu}{\lambda(\lambda + \mu)} & \frac{1}{\lambda + \mu} \end{pmatrix}, T_V^+ = T_V = \begin{pmatrix} \frac{1}{\mu} \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Средние времена нахождения в подмножествах  $U$  и  $V$ , используя (10):

$$t_U = \bar{r}_U^+ \cdot T_U^+ \cdot e = (\lambda + \mu) / \lambda^2, t_V = \bar{r}_V^+ \cdot \Lambda_V^{-1} \cdot e = 1 / \mu, \quad (11)$$

что также согласуется с результатом, полученным в (8).

По результатам исследования функционирования дублированной системы разными методами можно сделать следующие выводы.

1. Проведено исследование относительно простых систем разного типа. Все результаты могут быть проверены вручную или с помощью программных средств (например, с помощью MathCAD или MatLAB).

2. Приведенные модели могут быть использованы для исследования зависимости эксплуатационных характеристик оборудования от исходных. На основании этих моделей могут быть сформулированы требования к исходным характеристикам.

3. К исследованию систем можно применить разные подходы (методы) для контроля правильности проведенных операций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Викторова В.С., Степанянц А.С. Модели и методы расчета надежности технических систем. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 256 с.
2. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем: учеб. пособие для вузов. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.

3. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. - М.: Стандартиформ, 2016. - 23 с.
4. ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. - М.: Стандартиформ, 2018. - 23 с.
5. Зеленцов Б.П. Матричные методы моделирования однородных марковских процессов. – Palmarium Academic Publishing, 2017.- 133 с.



## ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАТЫ TUSUR IOT BOARD В РАМКАХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники в г. Томске (ТУСУР)

Ключевые слова: Интернет вещей, программирование, встраиваемые системы, отладочная плата, образование.

В статье представлено подробное описание TUSUR IoT Board ее преимуществ и ее применения в образовательном процессе для студентов с различным уровнем навыка начальной подготовки, а также сравнение с существующими аналогами. Цель работы заключается в подробном описании характеристик TUSUR IoT Board и возможностей ее применения для обучения студентов программированию микроконтроллеров и введению в разработку встраиваемых систем для Интернета вещей.

D. A. Kondrashov, K. V. Savenko, E.V. Rogozhnikov

## USING THE TUSUR IOT BOARD WITHIN THE EDUCATIONAL PROCESS

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics in Tomsk (TUSUR)

Keywords: internet of things, programming, embedded systems, development board, education.

The paper provides a detailed description of the TUSUR IoT Board, its advantages and its application in the educational process for students with different levels of initial training skills, as well as a comparison with existing analogues. The purpose of the work is to describe in detail the characteristics of the TUSUR IoT Board and the possibilities of its application to teach students how to program microcontrollers and introduce them to the development of embedded systems for the Internet of things.

В последнее время, с развитием телекоммуникационных систем, все больше внимания уделяется Интернет вещей [1] – взаимодействию физических объектов с внешней средой и объединенных между собой при помощи сети в той или иной форме. Предполагается, что в будущем Интернет вещей позволит перестроить процессы таким образом, что из части действий и операций будет частично или полностью исключена необходимость участия человека. Интернет вещей предполагает создание «умного» дома, района или целого города, посредством сложной сети взаимодействия физических объектов и принятием необходимых решений на основе данных таких взаимодействий.

Для развития Интернета вещей в России [2] необходимо подготавливать кадровый состав, имеющий достаточный объем компетенций в сфере телекоммуникаций, а также программирования микроконтроллеров и разработке встраиваемых систем для Интернета вещей. TUSUR IoT Board разрабатывалась исходя из необходимости в создании многофункциональной платформы на основе которой студенты смогут получить базовые навыки в программировании микроконтроллеров, а также знания в области взаимодействия физических объектов по средством Интернета вещей.

Основной задачей при создании TUSUR IoT Board было создать комплексное изделие, включающее в себя печатную плату на которой смонтировано: два микроконтроллера: основной (ESP32-WROOM-32) [3] и программируемый (STM32F103C) [4]; датчики: освещенности, температуры, атмосферного давления, микрофон; модули беспроводной передачи данных: Wi-Fi, Bluetooth, RFID, инфракрасный приемопередатчик; устройства вывода информации: дисплей, зуммер, динамик и другие блоки: переключатели, кнопки, потенциометр,

вентилятор, энкодеры, разъем для карты памяти. Для размещения дополнительных периферийных устройств предусмотрена небольшая макетная плата с выводом всех необходимых интерфейсов. Также разработанная платформа имеет в своем составе и измерительные блоки, позволяющие наглядно увидеть протекающие процессы.

Существует проблематика, что имеющиеся решения, которые можно использовать в образовательном процессе обладают малой надежностью за счет использования проводных соединений, из-за чего появляется вероятность того, что неопытный пользователь может допустить ошибку в подключении, что приведет к выходу из строя модуля периферии или всей платы в целом. Также подключение при помощи проводных соединений само по себе снижает, как стабильность работы из-за дребезга в местах контакта, так и долговечность таких соединений. Еще одной проблемой является высокий порог вхождения из-за необходимости знаний в схемотехнике и программировании. TUSUR IoT Board за счет своей конструкции позволяет решить данные проблемы.

На рисунке 1 представлена блок-схема взаимодействия периферийных устройств и микроконтроллеров. Стоит отметить, что взаимодействие между ними осуществляется по трем интерфейсам: UART, I2C и SPI. Обмен данными микроконтроллеров между собой осуществляется по интерфейсу UART, а интерфейсы общения с периферией указаны в блоках.

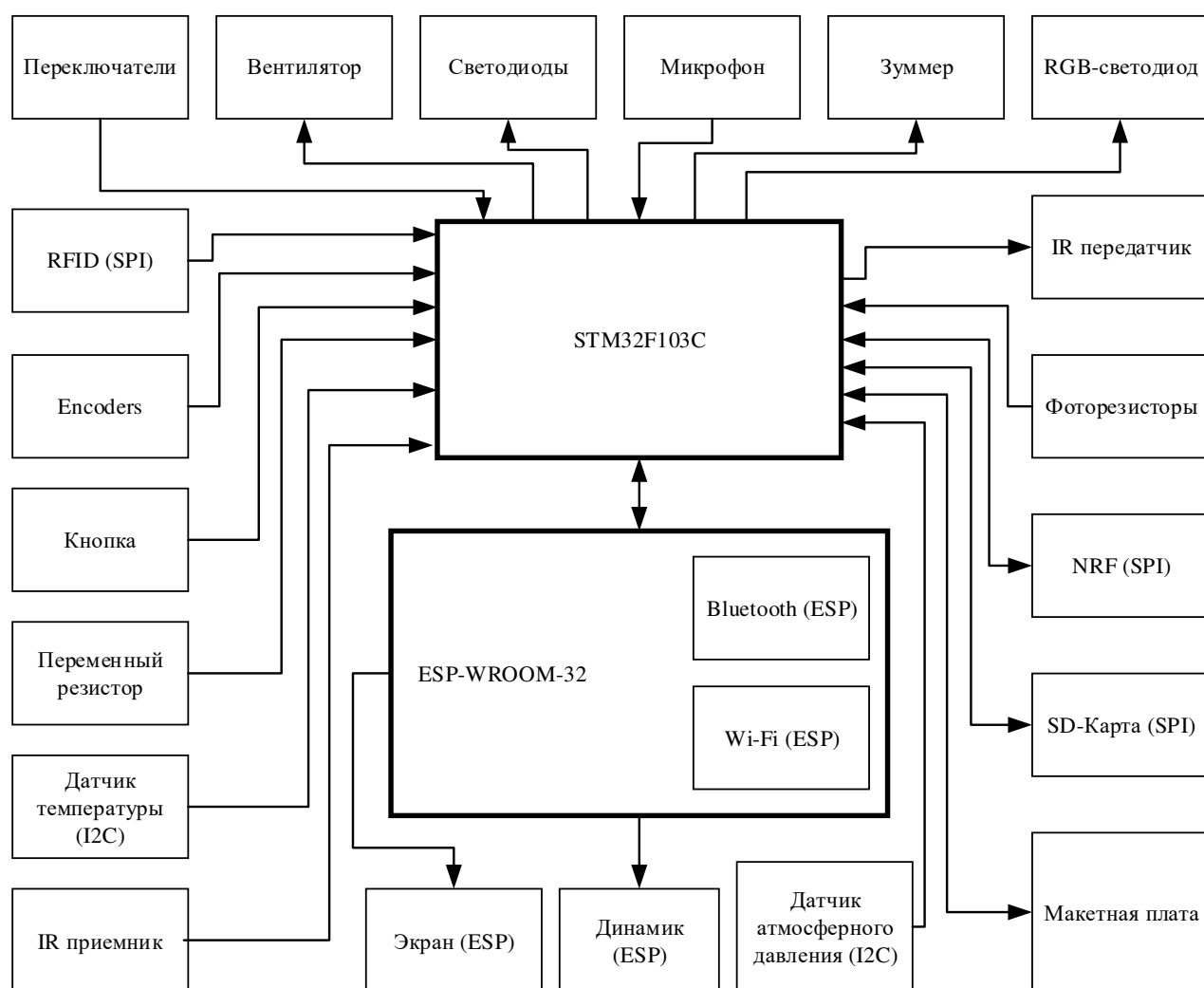


Рис. 1 – Блок-схема взаимодействия микропроцессоров и периферийных устройств

В основной микроконтроллер, в который встроена операционная система платы, позволяет загружать в программируемый микроконтроллер как пользовательский код, так и код из набора ранее написанных примеров; реализует интуитивный интерфейс взаимодействия с пользователем; позволяет отслеживать и управлять включением и отключением периферийных устройств от программируемого микроконтроллера. Наличие основного микроконтроллера и

его функционала позволяет на одной печатной плате реализовать полноценный лабораторный стенд по изучению Интернета вещей.

На рисунке 2 представлена изготовленная плата TUSUR IoT Board. Можно увидеть наличие ряда периферийных устройств. Как говорилось ранее, все связи между микроконтроллерами и внешними устройствами выполнены на печатной плате без использования проводов, что значительно повышает надежность и позволяет свести изучение программирования микроконтроллеров и встраиваемых систем к взаимодействию с одной платой и персональным компьютером.

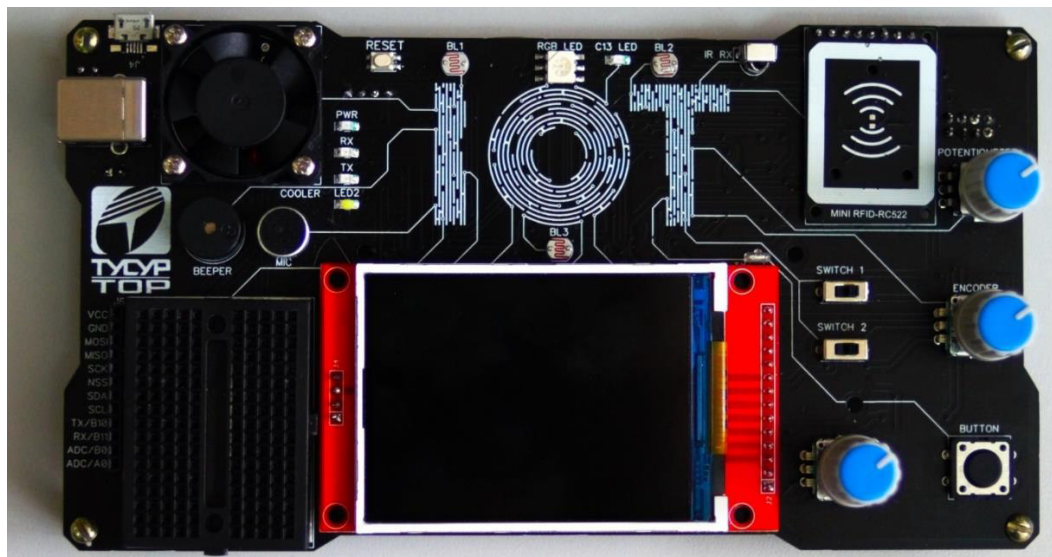


Рис. 2 – Внешний вид TUSUR IoT Board

Программируемый микроконтроллер связан с периферийными устройствами, как это показано на рисунке 1. Студентам, опираясь на необходимость использования периферийных устройств, необходимо выполнить их подключение через меню, используя энкодер для навигации. Вид меню представлен на рисунке 3. Наличие такого разнообразия периферийных устройств позволяет обеспечить необходимый функционал для изучения программирования микроконтроллеров и изучения Интернета вещей.

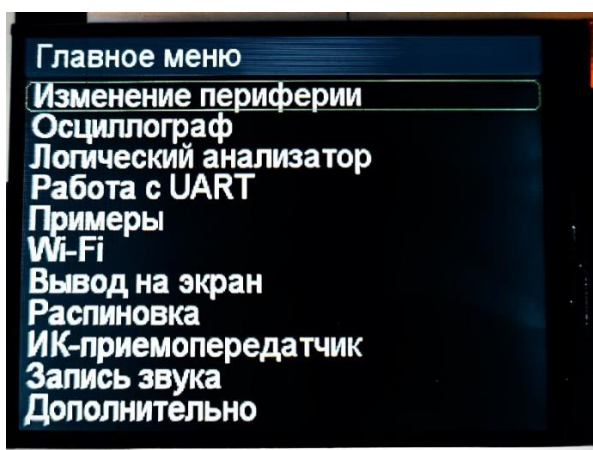


Рис. 3 – Главное меню TUSUR IoT Board

На плате TUSUR IoT Board реализованы измерительные блоки, что позволяет студентам наблюдать за реальными сигналами между модулями. Также на реальных сигналах изучить интерфейсы UART, I2C и SPI, и пронаблюдать структуру пакета данных. Реализован осциллограф, позволяющий отслеживать сигнал и получить базовые навыки с его работой.

В образовательном процессе для базового курса в качестве среды разработки была выбрана среда Arduino IDE, которая за счет своей простоты и гибкости позволяет взаимодействовать с платой людям даже с небольшими навыками программирования. Также

для более глубокого изучения встраиваемых систем имеется возможность программирования микроконтроллера STM32 непосредственно на языке Си. Введение TUSUR IoT Board в образовательный процесс позволяет существенно снизить порог вхождения для разработки встраиваемых систем Интернета вещей и программирования микроконтроллеров.

Разработанная в ТУСУРе плата TUSUR IoT Board является полноценным решением для обучения студентов программированию микроконтроллеров и разработке встраиваемых систем Интернета вещей. Она обладает большим функционалом, обширным списком используемой периферии, реализованной на одной печатной плате, что повышает ее надежность и упрощает взаимодействие с ней. Также, при необходимости, есть возможность установки дополнительного периферийного оборудования, используя макетную плату.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions // Volume 29, Issue 7 Future Generation Computer Systems. – ScienceDirect, 2013. – С. 1645-1660.
2. Перспективы развития «Интернета вещей» в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pwc.ru/ru/publications/the-internet-of-things.html>
3. ESP32-WROOM-32 datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf)
4. STM32F103C datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>

## ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ КАК СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СВЯЗИ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: интернет вещей, сетевое оборудование, как устроен интернет вещей, IoT, современные проблемы IoT, отсутствие единого стандарта.

Несмотря на активное развитие и внедрение концепции интернета вещей в жизнь человека, устройства для потребителей до сих пор работают внутри закрытых систем и не имеют возможности смены поставщиков услуг. Кроме того, устройства интернета вещей не рассматриваются как сетевое оборудование, которым на самом деле являются.

D.V. Syropyatov, I.V. Korobitsyn, N.V. Budyldina

## INTERNET OF THINGS AS NETWORK COMMUNICATION EQUIPMENT

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Keywords: Internet of things, network equipment, how the Internet of Things works, IoT, modern IoT problems, the absence of a single standard.

Despite the active development and implementation of the concept of the Internet of Things in human life, consumer devices still work inside closed systems and do not have the ability to change service providers. In addition, IoT devices are not considered as network equipment, which they actually are.

### ВВЕДЕНИЕ

Интернет вещей задел жизни большинства людей. Сейчас никого не удивить умной розеткой или лампочкой, хотя не у всех дома они есть. Крупные компании стремятся выстроить вокруг себя экосистему, в частности, с помощью IoT устройств. Экосистема в первую очередь полезна компании - ведь таким образом пользователь в итоге ради удобства и совместимости техники между собой покупает только устройства определённого производителя. С точки зрения пользователя это удобно. Но крайне ненадежно.

С компанией-производителем может произойти любая ситуация: банкротство, уход с рынка, взлом и повреждение инфраструктуры. В конце-концов сама компания может объявить о ликвидации продукта. И вот наша умная лампочка уже не такая умная.

### ОТСУТСТВИЕ ЕДИНОГО СТАНДАРТА

На текущий момент в мире IoT устройства технически верно, по всем стандартам спроектированы только с точки зрения физических параметров. Например электробезопасности. Но с точки зрения IoT как сетевого оборудования - не соблюдается ни один стандарт. Более того, унифицированного стандарта гарантированной пользователю функциональности до сих пор нет. Фактически, при покупке умной лампочки потребитель покупает кота в мешке.

Управление любым коммерческим устройством интернета вещей на сегодня имеет достаточно долгий путь. К примеру, чтобы создать собственное устройство и подключить его к голосовому управлению придется задействовать следующие компоненты:

1. Датчик с микроконтроллером, оборудованием для связи (само физическое устройство, например умная лампочка)

2. Центр управления (обычно основан на webhook, например NodeRed или Blynk, управляет датчиком, считывает с него показания и передает ему команды, хранит сценарии и правила взаимодействия)

3. Брокер (например MQTT, связывает центр управления устройствами с внешней средой, является посредником между сервисами)

4. Голосовой ассистент или приложение умного дома (например Алиса, предоставляет интерфейс для управления устройством или датчиком)

Таким образом, для включения умной лампочки должны выполняться следующие шаги:

1. Я должен передать команду Алисе;
2. Алиса обработать, понять смысл команды, передать запрос на включение брокеру
3. Брокер некой компании обработать этот запрос и отправить на устройство
4. Устройство переключить режим или выполнить другое действие

С точки зрения логики процесс не слишком длинный. Однако с точки зрения сетевого устройства это очень сложное сетевое взаимодействие. На рисунке 1 показано сетевое взаимодействие на данный момент, на рисунке 2 показана оптимальная схема взаимодействия устройств в сети.

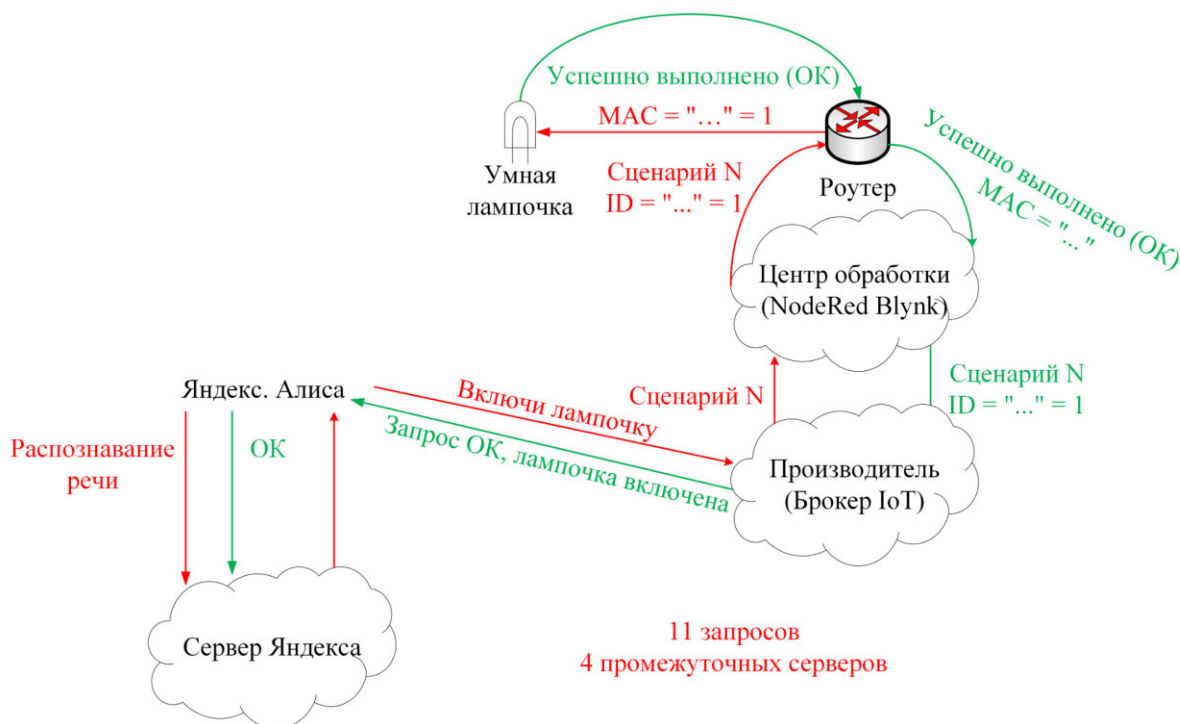


Рисунок 1 – Схема взаимодействия устройств в сети на данный момент

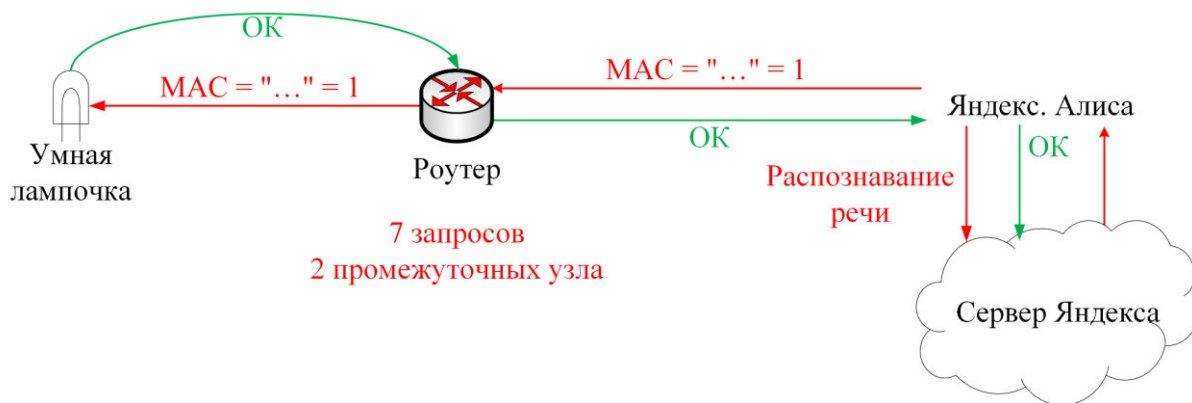


Рисунок 2 – Оптимальная схема взаимодействия

Любые современные сетевые устройства подчиняются в первую очередь администратору. Роутеры, маршрутизаторы, коммутаторы, репитеры, телефоны, ноутбуки имеют возможность

конфигурации: выбор своих DNS-серверов, подключение различных источников интернета, блокировку некоторых запросов или локальное взаимодействие между собой даже в условиях отсутствия доступа к глобальной сети.

Но вот умные устройства в большинстве своём до сих пор не имеют никакой возможности к локальному взаимодействию. Администратор умного дома не имеет возможности подключиться к лампочке напрямую и задать адреса своего брокера и своего управляющего центра, не может напрямую дать команду выключиться или поменять цвет освещения. Запрос должен пойти только через приложение и сервера производителя. Соответственно, без них умная лампочка становится обычной лампочкой со сложной и бесполезной технологической начинкой. Такие опции появляются только после взлома устройства - получения рут-прав или использования уязвимостей, что однозначно не является простым и безопасным действием.

Обязанность разрабатывать стандарты минимального функционала, интерфейсов лежит в первую очередь на научном сообществе. Мы в своей лаборатории должны заниматься разработкой устройств-аналогов коммерческой сферы, но созданных полностью с нуля. Цель - разобраться как устроено взаимодействие, предложить более простую схему, создать единый удобный формат управления и изменения настроек. Результат этих действий - новое поколение устройств, универсальных, способных работать в любой экосистеме по выбору пользователя.

Эти устройства должны отвечать стандартам сетевого оборудования в первую очередь и настраиваться для локального взаимодействия. Это снизит задержку, уменьшит количество запросов к посторонним серверам и между ними, даст полный контроль над умным домом и снизит риски нарушения безопасности. А ещё сделает умную лампочку по-настоящему умной и независимой ни от блокировок, ни от своей компании-производителя.

На данный момент работники лаборатории ищут оптимальный вариант решения поставленной выше проблемы, для решения которой призывает всех искать возможные пути решения проблемы, ведь интернет должен быть доступным, гибким, и настраиваемым, чего в данный момент нет в сфере IoT устройств.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Базовое решение для управляемой разработки устройств - подключать их, непосредственно к выделенному серверу, которым является микрокомпьютер Raspberry Pi 4 Model B с 4 ГБ оперативной памяти. Raspberry содержит в себе одновременно и ПО брокера, и ПО центра управления сценариями.

Основная проблема в том, что IoT-устройствам, ввиду простоты устройства протоколов их взаимодействия, необходим доступ в “чистый интернет”. Любые попытки защиты соединения такие как прокси-сервер или VPN мешают правильной их работе и требуют серьезных изменений кода и логики взаимодействия. Это усложняет работу с ними и замедляет разработку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. MQTT: The Standard for IoT Messaging [Электронный ресурс]. URL: <https://mqtt.org> (дата обращения: 17.04.2022).
2. “How IoT Device Provisioning to the Arduino IoT Cloud Works” [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.arduino.cc/2020/08/31/how-iot-device-provisioning-to-the-arduino-iot-cloud-works> (дата обращения: 17.04.2022).
3. “Three Major Challenges Facing IoT” [Электронный ресурс]. URL: <https://iot.ieee.org/newsletter/march-2017/three-major-challenges-facing-iot> (дата обращения: 17.04.2022).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОКАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
в г. Екатеринбурге. (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: математическое моделирование, радиоканал, канал управления, беспилотный летательный аппарат, БПЛА.

В статье приведены расчеты радиоканала управления подвижным объектом на примере беспилотного летательного аппарата. Рассмотрены типы БПЛА и их основные характеристики. Выведены зависимости напряженности электрического поля в точке приема от положения объекта в пространстве: по радиальному расстоянию от передатчика, высоте полета, частоты канала управления, электродинамических свойств отражающей поверхности.

S.Y. Krasnykh, D.A. Ovchinnikov, S.A. Baranov, I.A. Malkova

## SIMULATION OF THE RADIO CONTROL CHANNEL OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Keywords: mathematical modeling, radio channel, control channel, unmanned aerial vehicle, UAV.

The article presents calculations of the radio control channel of a mobile object on the example of an unmanned aerial vehicle. The types of UAVs and their main characteristics are considered. The dependences of the electric field strength at the receiving point on the position of the object in space are derived: by radial distance from the transmitter, flight altitude, frequency of the control channel, electrodynamic properties of the reflecting surface.

### *1. Цели и задачи работы*

Управление подвижными объектами по радиоканалу используется в большом числе систем как гражданского, так и военного назначения. При этом к радиоканалу предъявляется достаточно отличающимися требования по скорости передачи информации, помехоустойчивости и надежности. Из большого многообразия радиосистем можно выделить системы управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА).

Целью данной работы является исследование характеристик радиоканала и методов его моделирования для систем управления наиболее распространенными типами БПЛА – гражданского назначения. Общими особенностями таких БПЛА является сравнительно небольшая дальность и высота полета и скорость относительно пункта управления. Для их канала управления, как правило, используется полоса частот и способы модуляции аналогичные с другими системами связи гражданского назначения.

Области использования беспилотных летательных аппаратов весьма обширно:

- военная сфера – разведка, нанесение ракетно-бомбовых ударов;
- картографирование местности;
- разведка при чрезвычайных ситуациях;
- доставка различных товаров;



- досуг (пример: гонки).
- Основные задачи, решаемые в работе:
  - определение факторов, влияющих на построение радиоканала БПЛА;
  - анализ характеристик каналов управления наиболее распространенных моделей БПЛА гражданского назначения;
    - формулирование требований к бортовым и подвижным антеннам канала управления;
    - обоснование моделей распространения моделей радиоволн с учетом особенностей применения БПЛА заданного типа;
    - анализ результатов расчета моделей и разработка предложений по повышению устойчивости радиоканала.

## 2. Определение параметров расчета радиоканала

Для выполнения задачи, прежде чем выполнять расчет и создать математическую модель необходимо определиться с предельными (граничными) параметрами и условиях, при которых рассматривается полет БПЛА.

Первым ограничением является тип используемых БПЛА: это летательные аппараты гражданского назначения.

БПЛА военного назначения не рассматриваются по следующим причинам:

- БПЛА данной области имеют свой выделенный частотный диапазон работы;
- военные не ограничены в плане выбора мощности передатчика;
- многие технические характеристики и способы передачи и защиты сигналов управления являются закрытой информацией.

Выполнив анализ источников [1]-[5] можно сказать, что все БПЛА гражданского назначения можно выделить в две группы: любительского уровня (частота работы примерно 2,4 ГГц, с мощностью передатчика не более 100 мВт) и профессиональные (частота работы 900 МГц с мощностью передатчиков до 1 Вт).

В соответствии с источником [6], можно сделать вывод, что бортовые антенны летательного аппарата изотропны, а наземные напротив, направленные.

Поскольку, мы считаем, что БПЛА управляется пультом, который находится в руках человека, мы получим довольно жесткие ограничения по масса-габаритным параметрам и следовательно не можем получить антенну с узкой диаграммой направленности.

В качестве антенны выберем волновой канал. Планируемая антенна содержит 5 элементов, линейные размеры не превышают 70 мм в длину и 30 мм в ширину, диапазон рабочих частот 2400 МГц.

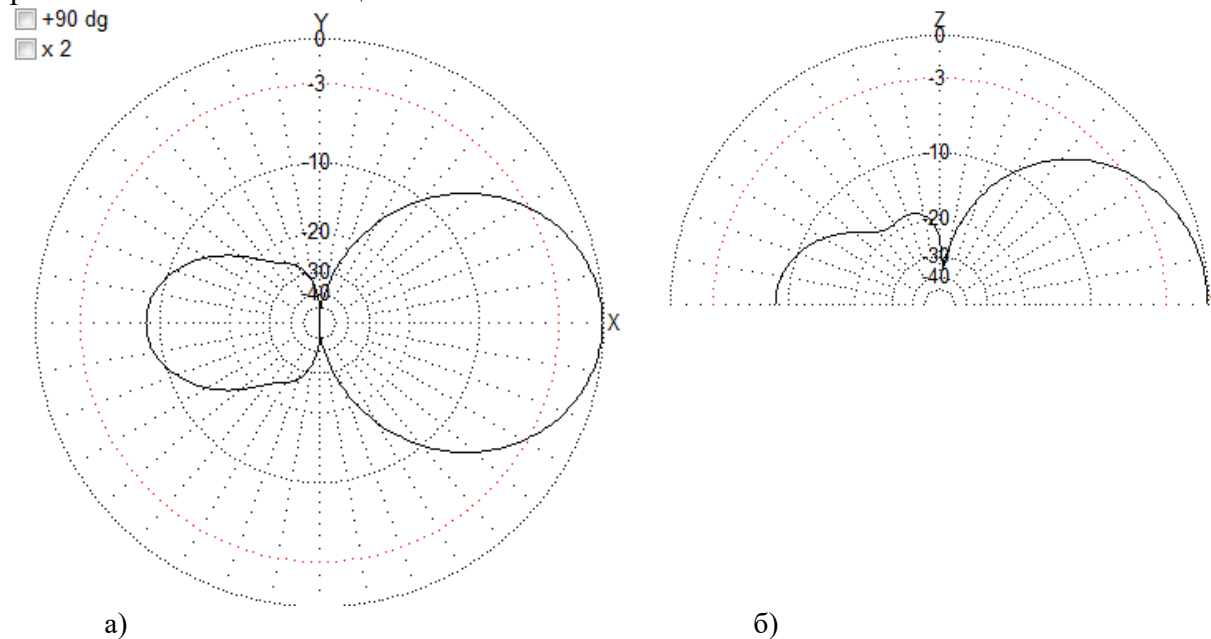


Рисунок 1 – Диаграмма направленности антенны, а – азимутальная, б – по углу места.

Антенна имеет избирательность по поляризации (горизонтальная) и направленную диаграмму направленности. Коэффициент усиления в прямом направлении 10 дБ, ширина направленности по уровню -3дБ составляет 58 градусов. В вертикальной плоскости диаграмма направленности имеет ширину в 74 градуса.

### 3. Построение математической модели

В качестве модели распространения электромагнитной энергии примем двухлучевую модель т.е. в расчете учитываются лишь прямая волна и отраженная. Соответственно суммарное поле в точке приема является суммой этих колебаний. Поскольку пути прямого и отраженного луча, необходимо по мимо всего прочего учесть сдвиг фазы.

$$E_1 = \frac{\sqrt{60 * P_1 D_1}}{r_1} e^{i(\omega t)} \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{R * \sqrt{60 * P_1 D_2}}{r_2} e^{i(\omega t - \theta - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r)} \quad (2)$$

где P–мощность передатчика, D–учет диаграммы направленности, r–пройденное расстояние,  $\omega$ –круговая частота,  $\theta$ –сдвиг фазы вследствие отражения от границы раздела сред,  $\lambda$ –длина волны,  $\Delta r$ –разница путей между двумя лучами.

Расчет коэффициента отражения выполняется по формулам Френеля [9]-[13].

$$R_{\text{перп}} = \frac{Z_{B2} \cos(\alpha) - Z_{B1} \cos(\beta)}{Z_{B2} \cos(\alpha) + Z_{B1} \cos(\beta)} \quad (3)$$

$$R_{\text{пар}} = \frac{Z_{B2} \cos(\beta) - Z_{B1} \cos(\alpha)}{Z_{B2} \cos(\beta) + Z_{B1} \cos(\alpha)} \quad (4)$$

где Z–волновое сопротивление среды,  $\alpha$ –угол падения,  $\beta$ –угол преломления. Все расчеты выполняются в среде Matlab.

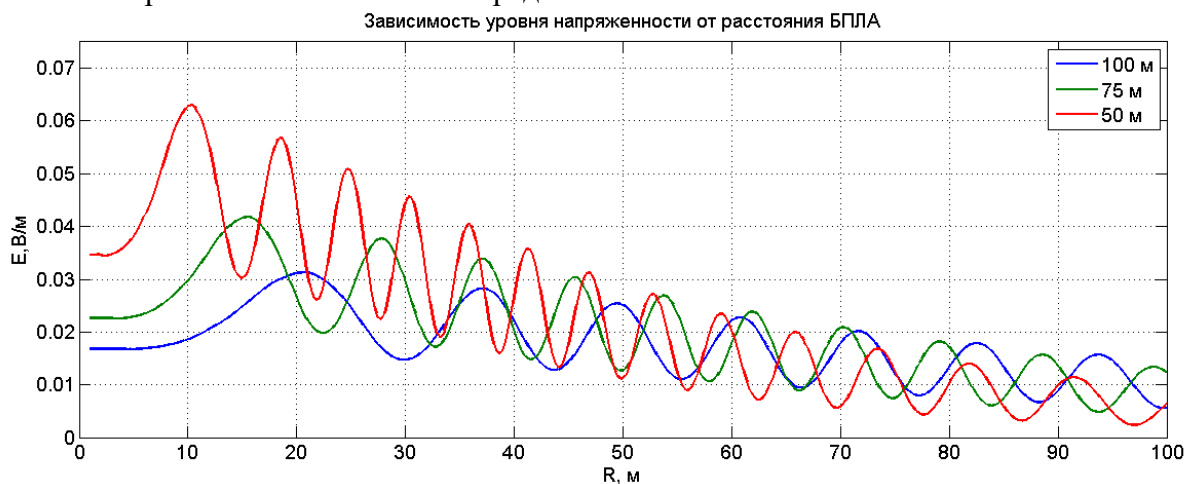


Рисунок 2 – Результат расчетов зависимости напряженности в точке приема от расстояния любительского БПЛА (2400 МГц) с высотой полета в 100, 75 и 50 метров. Высота подъема передающей антенны 1.5 метров.

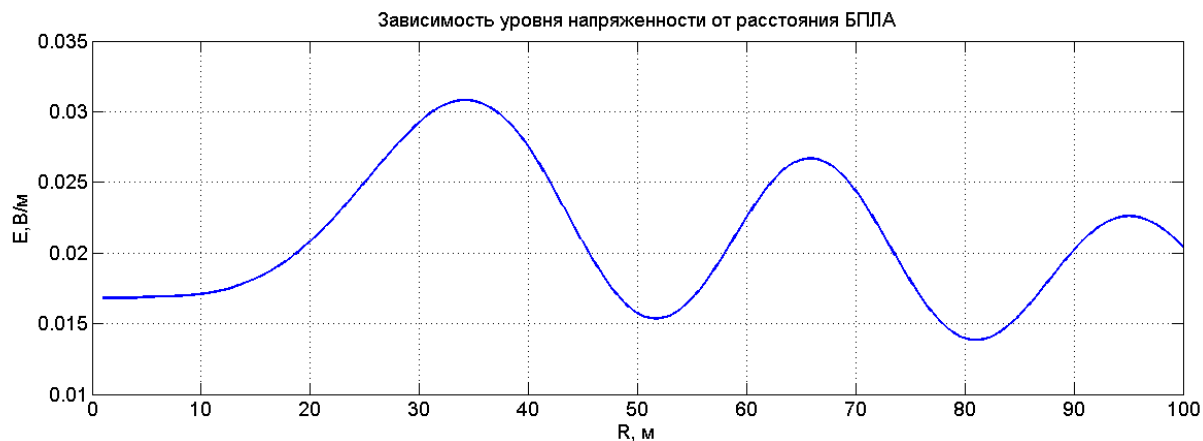


Рисунок 3 – Результат расчетов для 900 МГц, и высоты приемной антенны в 100 метров (для сравнения).

#### *Заключение и выводы*

Основываясь на полученном результате (рисунок 2 и 3), можно сделать следующий вывод: движение летательного аппарата по радиальной траектории от передатчика приводит к изменению уровня напряженности вследствие изменения фазы отраженного луча по сравнению с прямым лучом. Поэтому на графике зависимости уровня напряжения от расстояния можно увидеть пики максимумов (фаза отраженного луча совпадает с прямым) и минимумов (фазы прямого и отраженного луча различаются на 180 градусов).

В случае реального полёта, летательный аппарат может двигаться не только по радиальной траектории, но и по круговой в частности. Соответственно в случае расстояния, при котором уровень напряженности минимален, имеется риск потери связи управления БПЛА.

Так же имеется зависимость полученной функции от высоты полета летательного аппарата (рисунок 2). Отсюда можно сделать вывод, что при малой высоте полета, несмотря на более высокий уровень напряженности, канал управления будет менее стабильным.

Так же стоит отметить, о необходимости учета электродинамических характеристик поверхности отражения, поскольку потери при отражении влияют на фазу отраженного сигнала. При этом, чем выше частота и выше потери в поверхности, тем это влияние сильнее.

Для сравнения выполнены расчеты на том же расстоянии и с той же высотой подъема антенн для частоты в 2 с лишним раза меньше (900 МГц) – рисунок 3. На изложенном графике, по сравнению с рисунком 2, можно сказать, что уменьшение частоты (увеличение длины волны) сказывается на частоте возникновения экстремумов. Их количество уменьшается примерно в 2 раза, т.е. опять можно сказать о повышении стабильности канала управления.

#### Список источников:

1. «Типы беспилотных летательных аппаратов. Обзор.» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aviatest.aero/articles/typy-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-obzor/>
2. «Как выбрать аппаратуру радиуправления для гоночного квадрокоптера» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://hobmodels.ru/info/articles/kak\\_vybrat\\_apparaturu\\_radiupravleniya\\_dlya\\_gonochного\\_kvadrokoptera/](https://hobmodels.ru/info/articles/kak_vybrat_apparaturu_radiupravleniya_dlya_gonochного_kvadrokoptera/)
3. Постановление правительства РФ от 18 сентября 2019 г. № 1203-47 «Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации».
4. ГОСТ Р 52459.3-2009 «Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства радиосвязи. Часть 3. Частные требования к устройствам малого радиуса действия, работающим на частотах от 9 кГц до 40 ГГц».
5. «Центр беспилотников ARMAIR» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bespilotnik24.ru/>

6. «Высокоэффективные антенные системы для беспилотных летательных аппаратов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ascam.aero/vyisokoeffektivnyie-antennyie-sistemyi-bespilotnyih-letatelnyih-apparatov/>
9. Долуханов М.П. Распространение радиоволн, 4-е издание, издательство «Связь», Москва 1972 г, 336 с. [стр 102-105.]
- 10 Измайлов С.В. Курс электродинамики, учебно-педагогическое издание издательство министерства просвещения РСФСР, Москва 1962 г. 440 с. [стр. 254-259]
11. Семенов Н. А. Техническая электродинамика. Учебное пособие для вузов. М., «Связь», 1973. – 480 с. [стр 100-103]
12. Гольдштейн Л.Д., Зернов Н.В. «Электромагнитные поля и волны», издательство «Советское радио», Москва 1971 г. – 664 с. [стр. 211-212]
13. Баскаков С. И. Электродинамика и распространение радиоволн» Издательство «Высшая школа», Москва 1992 г. 416 с. [стр 285].

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ GPS И ГЛОНАСС

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: спутниковая навигация, GPS, ГЛОНАСС, сравнительный анализ.

В статье представлен сравнительный анализ двух самых распространённых спутниковых навигационных систем – GPS и ГЛОНАСС. Анализ проводился по основным параметрам, с помощью которых можно оценить систему спутниковой навигации: точность определения местоположения, количество найденных спутников, мощность сигнала на входе приёмника спутников. Измерения проводились с помощью модуля НАВИА GL8088S.

A.A. Levikov, D.A. Ovchinnikov

## COMPARATIVE ANALYSIS OF GPS AND GLONASS SATELLITE NAVIGATION SYSTEM

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Keywords: satellite navigation, GPS, GLONASS, comparative analysis.

The article presents a comparative analysis of the two most common satellite navigation systems – GPS and GLONASS. The analysis was carried out according to the main parameters that can be used to evaluate the satellite navigation system: the accuracy of location determination, the number of satellites found, the signal strength at the input of the satellite receiver. The measurements were carried out using the NAVIA GL8088S module.

Системы спутниковой навигации широко используются для обеспечения навигации с высокой точностью для всех потребителей в любое время и в любом месте. В современном мире каждый человек сталкивался и использовал системы глобального позиционирования для своих нужд.

Самыми используемыми системами навигации в России являются американский GPS и отечественный ГЛОНАСС. Несмотря на общие принципы навигации, между системами много различий: в аппаратном и программном обеспечении, в высоте полёта спутников, в рабочей частоте и реальном уровне сигнала. Все эти различия впоследствии влияют на точность определения положения объекта.

С целью сравнения двух конкурирующих систем выполнен ряд экспериментов: произведено 4 измерения в разных точках, расположенных на разной высоте относительно моря. В исследовании точки обозначены номером этажа здания, на котором было произведено измерение. Измерения были проведены с помощью лабораторного модуля, сконструированного на основе платы НАВИА GL8808S (рис. 1).

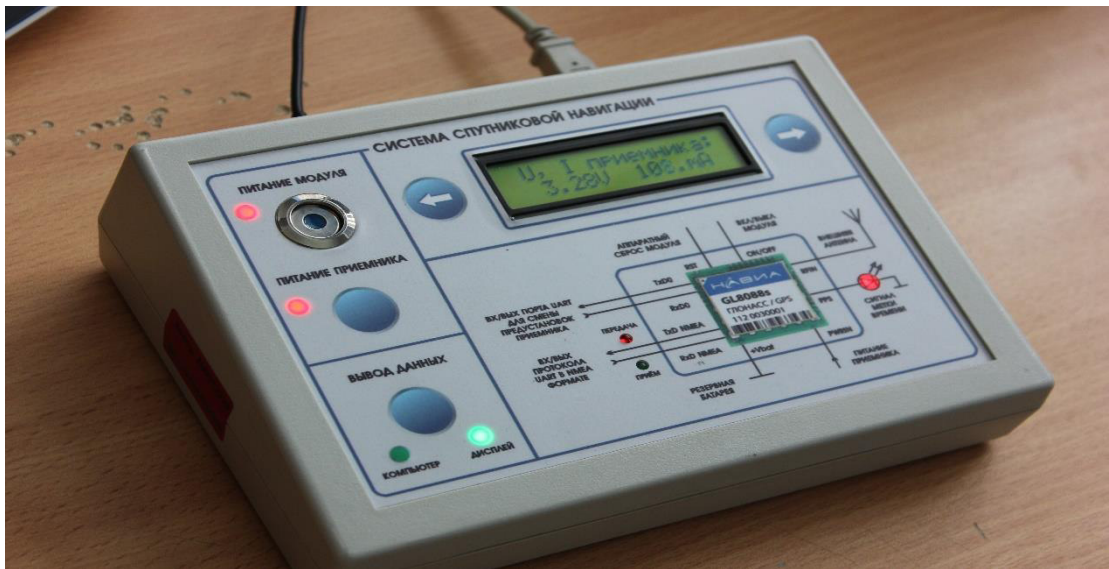


Рис. 1 – Лабораторный измерительный модуль НАВИА GLS8808S

Для первой выбранной точки, все измерения приведены подробно, с демонстрацией результатов со специализированного ПО НАВИА GPS+ГЛОНАСС 1.14.

Используемая программа позволяет осуществлять запуск как одновременно двух систем – GPS и ГЛОНАСС, так и каждой отдельно. Для начала, проведём измерения с использованием обеих систем для первой точки (рис. 2).

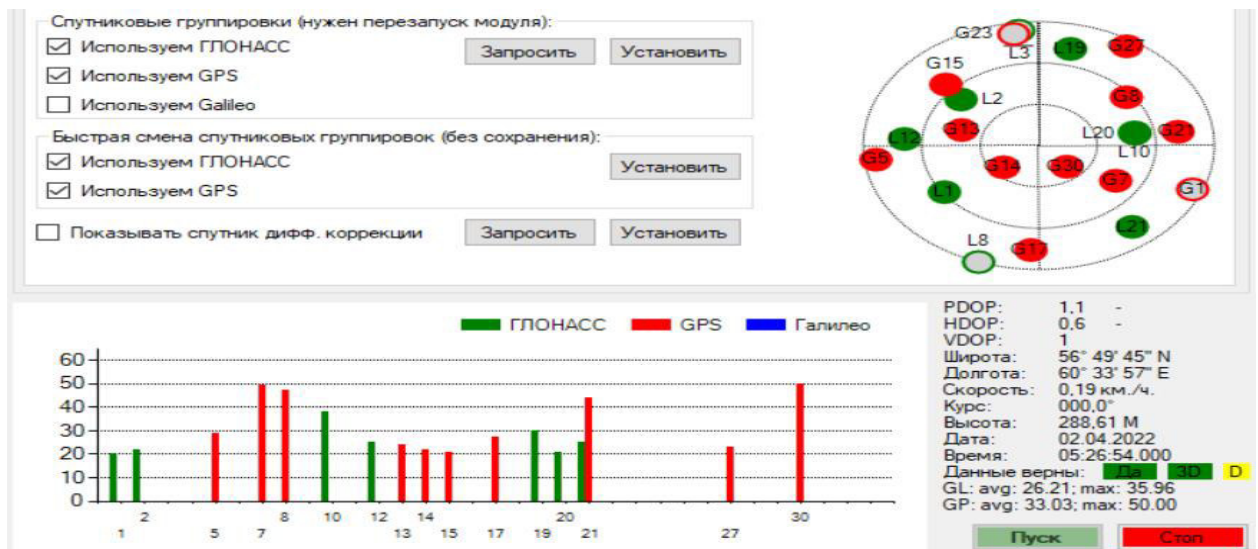


Рис. 2 – Первичное включение модуля для первой точки

На представленном рисунке видно несколько важных для исследования параметров: полученные координаты с точностью до секунд, количество используемых спутников и их уровень сигнала. В случае одновременного запуска, программа старается найти среднее значение для определения координат, потому единственное, что следует для дальнейшего сравнения – это уровень сигнала и количество спутников. Спутники системы GPS в большинстве своём имеют уровень сигнала выше, чем у ГЛОНАСС, а количество их спутников больше на 3.

Далее, проведём отдельные измерения по каждой системе. Начнём с системы GPS, и проведём измерения для трёх условий: первичное включение, результаты после горячего перезапуска, результаты после холодного перезапуска (рис. 3-5).

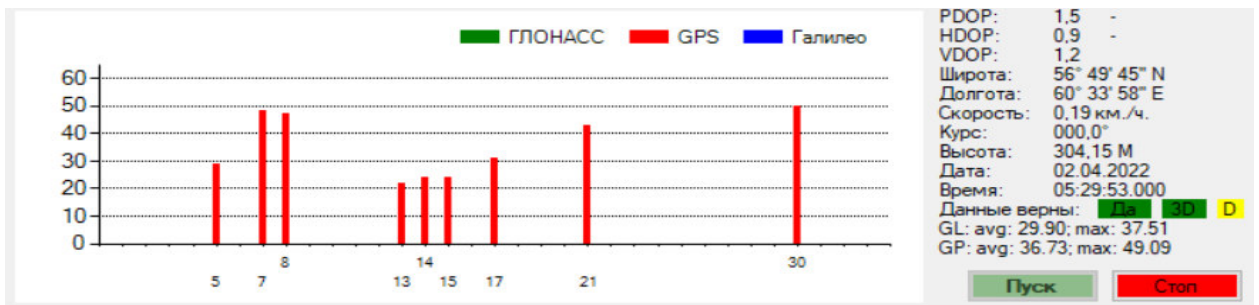


Рис. 3 – Первичное включение модуля GPS для первой точки

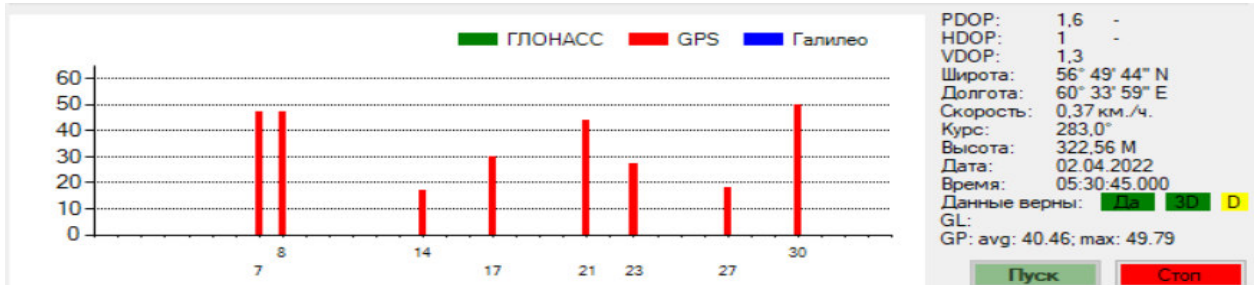


Рис. 4 - Результаты после горячего перезапуска модуля GPS

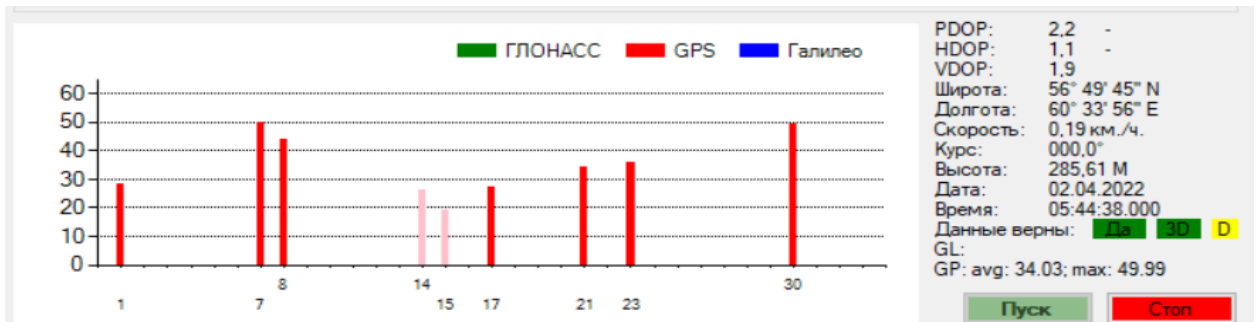


Рис. 5 – Результаты после холодного перезапуска модуля GPS

Анализируя графики полученных результатов, можно сделать несколько выводов:

- При горячем перезапуске система отбросила спутники, излучающие самые низкие уровни сигнала;
  - При горячем перезапуске результаты измерения значительно отличаются от реального местоположения;
  - При холодном перезапуске система выдала наиболее точные значения координат.
- Проведём аналогичные измерения для системы ГЛОНАСС (рис. 6-8).

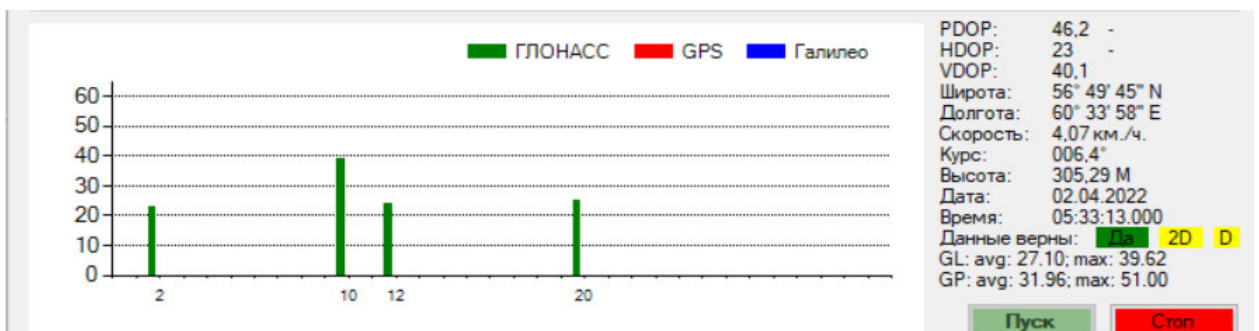


Рис. 6 - Первичное включение модуля ГЛОНАСС для первой точки

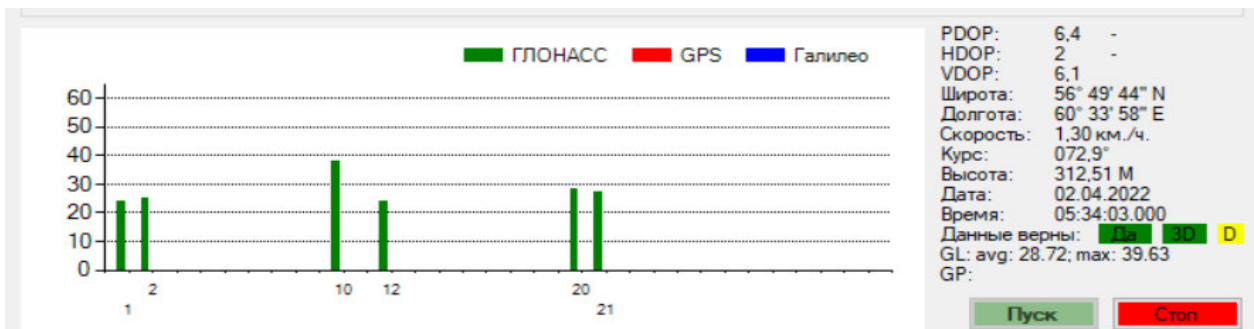


Рис. 7 - Результаты после горячего перезапуска модуля ГЛОНАСС

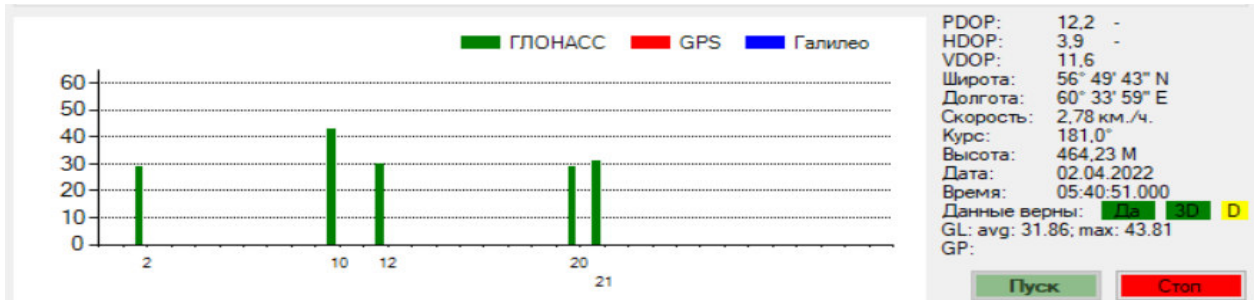


Рис. 8 - Результаты после холодного перезапуска модуля ГЛОНАСС

Для ГЛОНАСС системы холодный перезапуск не оказался таким эффективным, как для GPS. Также стоит отметить, что максимальные значения уровня сигнала у спутников ГЛОНАСС значительно. Максимально приближённых к реальным значений с помощью спутников отечественной системы добиться не получилось.

Результаты дальнейших измерений для всех точек сведём в таблицу (таблица 1)

Таблица 1 – Результаты измерений для всех точек по приведённым параметрам

№	Количество совпадений полученных координат с реальными		Среднее количество используемых спутников		Скорость холодного перезапуска, сек		Максимальный уровень сигнала, у.е.		Минимальный уровень сигнала, у.е.	
	GPS	ГЛОНАСС	GPS	ГЛОНАСС	GPS	ГЛОНАСС	GPS	ГЛОНАСС	GPS	ГЛОНАСС
1	1	0	8	6	228	154	50	44	18	21
2	2	0	7	3	204	172	44	39	21	25
3	0	2	7	4	196	91	38	33	17	16
4	3	0	9	6	207	30	49	41	30	23

Для наглядности точности измерений обеих систем, приведём карту с полученными точками, которые будут сравниваться с реальной точкой расположения антенны в точке измерения №2 (рис. 9).



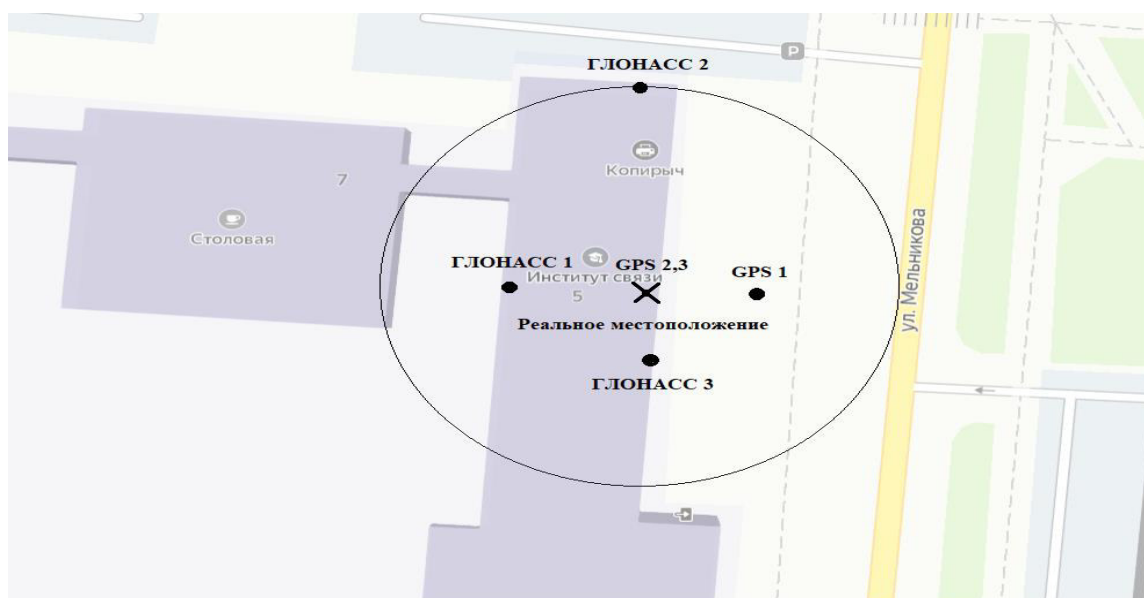


Рис. 9 – Карта измерений с обозначениями полученных результатов

Исходя из полученных результатов, можно сделать несколько выводов. Прежде всего, стоит отметить, что все измерения проводились в один день в ветреную погоду, с туманом и снегопадом, что непременно повлияло на полученные результаты.

Касаемо точности измерений, ГЛОНАСС оказался хуже в 3 из 4 измерений, что можно заметить из таблицы и карты измерений. Однако, все полученные координаты находятся близко к реальным координатам, потому такие результаты можно объяснить более высокой погрешностью.

Отмечая среднее количество используемых спутников, подразумевались те спутники, которые использовала программа для определения точных координат. Данное количество важно, так как по нему можно понять, насколько гибка система для пользователя. Чем больше используется спутников, тем лучше будут определяться данные в движении. Также стоит отметить, что для второй точки измерений ГЛОНАСС смог подключиться лишь к 3 спутникам. Данное количество является нормированным, однако отсутствие четвёртого контрольного спутника могло повлиять на точность проведённых измерений.

Скорость холодного перезапуска модуля – крайне важный параметр для определения геолокации в критических ситуациях и в случае намеренного перезапуска системы навигации. Холодный перезапуск означает для платы полный сброс всех кэшированных данных и полноценный сбор актуальной информации: о местоположении спутников на орбите, об частоте их сигнала, об используемой мощности. В исследовании данного параметра в серьёзном выигрыше находится ГЛОНАСС, перезапускаясь значительно быстрее, чем GPS. Также стоит отметить, что чем выше относительно моря точка измерения – тем быстрее происходит перезагрузка. Данный факт крайне важен для сравнительной характеристики систем.

Максимальный и минимальный уровни сигнала спутников навигационных систем были рассмотрена для того, чтобы провести зависимость данных параметров сигнала с точностью результатов. Во всех случаях, GPS имел показатели выше на максимальном уровне сигнала, и в 2 из 4 случаев, ниже на минимального уровня, в сравнении с системой ГЛОНАСС. Исходя из этого можно сделать два вывода: максимальный уровень сигнала спутника навигационной системы GPS позволяет определять координаты точнее, в то время как минимальный показывает факт того, что системе не так важно иметь большие абсолютные значение приведённого параметра сигнала для того, чтобы выдать достаточно точный результат. Однако, в тоже время, стоит отметить, что вывод, касающийся минимального уровня сигнала, распространяется только на один спутник в сети. Это доказывает результат третьего измерения, где уровень сигнала спутника системы GPS упала ниже 40 условных единиц, что повлияло на точность измерений, в то время как система ГЛОНАСС сумела выдать результат, совпадающий

с реальным дважды из трёх измерений, при том, что минимальный уровень сигнала у GPS был выше на 1 у.е.

Таким образом, можно сделать общий вывод о том, что система GPS выигрывает у системы ГЛОНАСС как минимум по трём рассматриваемым параметрам. Однако, важно отметить, что худшие результаты отечественной системы в большей степени связаны с меньшим уровнем сигнала и меньшим количеством найденных спутников, что может быть связано с используемой антенной, являющейся единой для систем GPS и ГЛОНАСС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1) Руководство по эксплуатации «Аппаратура навигационная потребителей глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС, GPS: GL8088s и ML8088s» [Текст] // Санкт-Петербург. – 2011. - №2.1.
- 2) В.Н. Харисова ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования. -3-е изд., перераб. - М.: Радиотехника, 2005. - 688 с.
- 3) Системы GPS и «Глонасс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://24glonass.ru/statya/sistemy-gps-i-glonass> (дата обращения 12.04.2022)
- 4) Принципы работы GPS и ее использования [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://loi.sccc.ru/gis/gps/chapter100.html> (дата обращения 12.04.2022)

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ В СЕТЯХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Академия Федеральной Службы Охраны Российской Федерации

Ключевые слова: система связи, радиостанции шестого поколения, единое информационное пространство, услуги связи.

В статье приведен материал, который говорит о том, что исходя из современной системы управления вооруженными силами Российской Федерации, прослеживается необходимость в создании и обеспечении новой системы связи, которая будет включать в себя функции по обеспечению информационной инфраструктуры и осуществлять объединение многие органы и пункты у правления для предоставления абонента информационных услуг.

I.D. Lushkin, S.A. Magomedov

## **ANALYSIS OF EXISTING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT IN SPECIAL PURPOSE COMMUNICATION NETWORKS**

Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation

Keywords: communication system, sixth generation radio stations, unified information space, communication services.

The article contains material that suggests that, based on the modern management system of the armed forces of the Russian Federation, there is a need to create and provide a new communication system that will include functions to provide information infrastructure and unite many bodies and points at the board to provide information services to the subscriber.

Тенденции современного информационного пространства влекут за собой появление более функциональной системы организации связи специального назначения. Развиваются рассматриваемые сетевые узлы на базе ПАК более усовершенствованного поколения в радиосвязи. Они реализуют обеспечение такой возможности, как функционирование подсистемы радиосвязи в целом, а также имеют в своем составе организацию сетей со связью, организованной по прямым линиям, сети с ячеистой организацией связи и общую сеть радиодоступа.

Осуществляя управление вооруженными силами в чрезвычайных ситуациях, возрастает роль организации грамотной и безотказной системы управления связью.

Современная структура системы связи должна обеспечивать должный уровень реагирования на изменения окружающей ситуации и обстановки в целом. При этом поддерживать динамическое изменение компонентов всей системы связи, а также постоянно обновлять методы и способы организации транспортировки данных в глобальной системе управления [1].

На основании ГОСТа 3.1109-82 «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий», технология – комплекс методов, средств, организационных мер, операций и приёмов изготовления, обслуживания, ремонта и эксплуатации изделий с требуемым качеством и оптимальными затратами, обусловленных текущим уровнем развития науки, техники и производства [4].

Основной задачей технологии является, обеспечение процесса разложения составных характеристик, обеспечивающих достижение результата, на отдельные элементы. Говоря о технологии обработки предоставленных материалов, можно сказать, что оно имеет

многоуровневую систему, которая в свою очередь состоит из различных по назначению процессов, которые используют разнородные ресурсы.

Исходя из этого, технология *PLC* (*Power Line Communications* - коммуникации по силовым линиям), также называемая *PLT* (*Power Line Telecoms*), является проводной технологией, которая реализует функции по использованию кабельной инфраструктуры, организованной на основе силовых электросетей и обеспечивает высокоскоростную передачу информации и голоса.

В зависимости от скорости передачи делится на широкополосную со скоростью более 1 Мбит/с и узкополосную [2].

Обеспечивая работоспособность сети транспортировки данных необходим ряд определенных устройств, обеспечивающих функциональные возможности сети. Данные устройства должны определять порядок и характеристики передаваемого сигнала, так же организовывать отказоустойчивый транзит данных, при этом устанавливать определенные внутренние правила и контролировать их соблюдение системой. Такие устройства являются корнем системы коммуникации и имеют общее название – сетевое оборудование.

*Оборудование, используемое в сетях доступа: виды и типы*

Для организации сети с уникальными возможностями и показателями способствует большое многообразие разновидностей сетевого оборудования:

Репитеры – предназначены для организации функции усиления сигнала при транспортировке его по линиям связи, так как при этом процессе преобладает процесс естественного затухания. Говоря же о показателях и степени затухания, то они зависят от протяженности линии связи;

Концентраторы – предназначены для реализации связи нескольких рабочих станций в одну общую систему, в которой с одного рабочего места можно организовать транспортировку данных на любое другое рабочее место, которое задействовано локальной сети;

Мосты – так как существует проблема ограничения репитеров в одной локальной сети, из-за задержки проходящего сигнала, для этого есть потребность в введении таких устройств, как мосты. Функциональной возможностью таких устройств является увеличение длины коммуникационных линий, такое оборудование принято считать активным;

Коммутаторы – организуют в своём функционале повышение дальности передачи сигнала и позволяют пренебречь ограничениями накладываемыми повторителями в организуемой сети;

Маршрутизаторы – компоненты локальной сети, которые осуществляют функции по объединению больших сетевых частей, организованных на основе мостов и коммутаторов в единую систему;

Шлюз – комплекс устройств, которые имеют от двух интерфейсов, что дает возможность для организации связи разноуровневых сетей, также маршрутизаторы можно считать, как разновидность шлюзов;

Сетевые экраны – предназначены для организации защиты транспортируемых данных посредством функции фильтрации разнородных потоков информации или данных. Данные функциональные возможности позволяют организовывать разграничение доступа и предотвращать попытки НСД.

Помимо этого, к средствам обеспечения коммуникационных систем можно добавить: сетевые карты, терминаторы, мультиплексоры [1]. Говоря о пассивном сетевом оборудовании, можно сказать, что к нему можно отнести соединительные элементы: разъемы, розетки; распределительные средства: патч-панели, кросс-панели, кроссовые коробки и другие аналогичные устройства [2].

В своём функционале компания «ТелЛинк» несет обеспечение технологии *PLC* более оптимизированную широкополосную модуляцию с расширяющимся спектром, предусмотренную под условия функционирования стабилизацию, ускоренную синхронизацию, кодирование с защитой от ошибок и оптимизированный протокол символьной пересылки. В корень такого подхода заложена адаптивная стабилизация и динамическая адаптация к заданным условиям передачи данных, также при этом происходит рассогласование импеданса электросети.

Если использовать *PLC*-технологии перераспределения сигнала и взаимодействие сетевых протоколов на основе микропроцессоров, есть возможность реализации надежной сети перераспределения данных цифровых устройств по ЛЭП, при этом отсутствует потребность в организации дополнительных не выгодных в экономическом плане кабелей связи. Микроконтроллер модема реализует широкополосную модуляцию сигнала, автоматическое отслеживание и адаптацию к быстроизменяющимся условиям распространения сигнала, прямое исправление ошибок, протокол помехозащищенной символьной пересылки [2]. Различные микропроцессоры и микроконтроллеры, функционально подстроенные под *PLC*-оборудование, а также контроллеры физического уровня, процессор транспортировки данных, процессор, организованный на канальном уровне, функционируют на базе микропроцессорной архитектуры.

Сферы, в которых реализуется применение *PLC*-модемов «ТелЛинк»:  
 энергетическая промышленность (телемеханика, *SCADA* (АСУ ТП), телефония, АСКУЭ);  
 подсистема автоматизированного и диспетчерского управления, система централизованного сбора данных о энергопотреблении;  
 организация автоматизированного управления освещением;  
 станции подзарядки для электромобилей по стандарту *HomePlug*.

На рисунке 1 представлен обобщенный обзор *PLC*-технологии в оборудовании, в сети доступа «ТелЛинк».

Наименование	Скорость, кбит/с, физ. уровень/ уровень приложения	Дальность, км, без учета ретрансляции	Интерфейс
TL300(L)	480/160 Версия L 9,6	0,5	UART/RS-485
TL301(L)		1	
TL302(L)	480/160 Версия L 9,6	2	RS-232/RS-485
TL303		3	
TL304		4	
TL305		5	
TL310		10	
TL320		20	
TL330		30	
TL350	480/160	50-100	RS-232/RS-485/Ethernet
TL350E		100	
TL3010	1500/500	100	RS-232/RS-485/Ethernet
TL300LED	480/160	0,5	Ethernet, ШИМ, DALI, 1-10
TL300LoRa	PLC + радиомодем LoRa		
TL2010	20 Мбит/с	10	Ethernet

Рис. 1. *PLC*-технология в оборудовании, использованном в сети доступа

На основании анализа периферийного оборудования, используемого в сетях, обеспечивающих доступ и его характеристик, можно сделать вывод о том, что аналоговые и цифровые микросхемы, обеспечивающие функции *PLC*-приемопередатчика, осуществляют модуляцию/демодуляцию, отслеживание и адаптацию распространения сигнала, прямое исправление ошибок. За счет того, что применяются схемы с интеграцией высокого уровня, микросхем со специализированными возможностями, выполняющих как цифровые, так и аналоговые функции, нет необходимости устанавливать дополнительные внешние устройства или схемные решения.

Проводя рассмотрение функциональных компонентов системы организации связи нового поколения, можно сказать, что присутствует возможность интегрировать создаваемые сети радиосвязи в общую среду обмена информацией, другими словами, в единое информационное пространство (ЕИП) [3]. Многие должностные лица, то есть абоненты сети, могут иметь собственный и быстрый доступ к современным и динамическим базам данных объединенной системы автоматизации процесса управления вооруженными силами в чрезвычайных ситуациях. Таким образом, быстрое и организованное подключение абонентов в сеть позволит

повысить уровень информационного обмена информацией, что позволяет получить превосходство перед противниками.

В процессе оснащения подразделений или организаций связи специального назначения современными и быстро развивающимися средствами, на основе цифровых технологий, формирование СССН должно быть устремлено на основание и усовершенствование инфраструктуры сети. Такой подход к становление современной и быстро развивающейся системы связи даст возможность организовать разноуровневую сети с эшелонами, а также сформировать укомплектовать ЕИП. При этом хорошим бонусом будет повышение уровня управляемости, который обеспечат интеллектуальные системы организации и постановка решения [2]. Так же повыситься пропускная способность, отказоустойчивость и разведзащищенность СССН. Укрупнённая схема организации радиосвязи в цифровых транкинговых сетях, спроектированных на базе протокола шестого поколения – *TETRA* [2], представлена на рисунке 2.

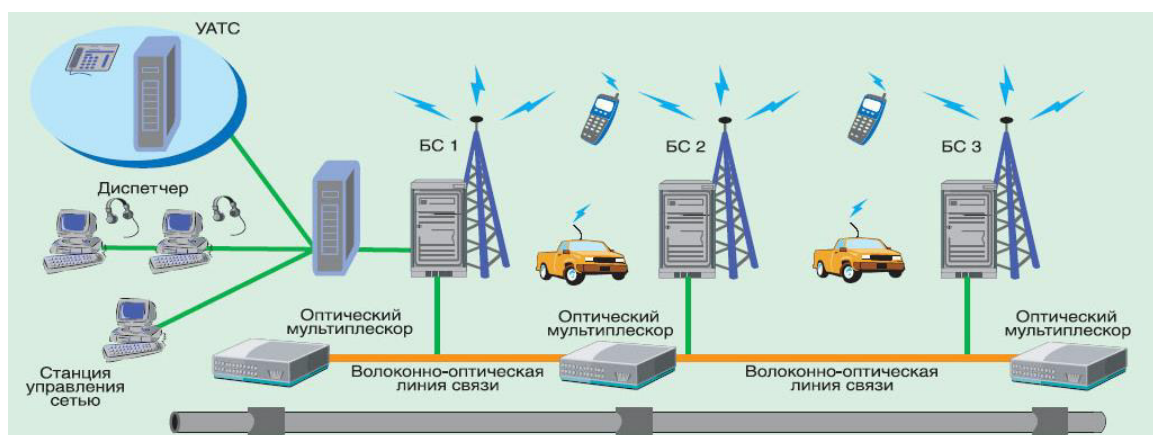


Рис. 2 – Примерная структурная схема радиосвязи на базе протокола шестого поколения - *TETRA*

Данный стандарт предусматривает не только радиосвязь с прямой видимостью абонентской станции, а так же и использование абонентской станции в качестве парораспределителя, другими словами ретранслятора для увеличения пространства радиозоны. Интерфейс, организованный на радиопередаче протокола, определяет работу в спектре частот с промежутком в 25 кГц. Данный протокол определяет шаг дуплексного разноса для этих систем, который составляет 10 МГц [3].

С учетом большого спектра быстро меняющихся задач, система связи должна обеспечивать быструю перерождение на основе удовлетворяющей функции мобильности узлов связи.

Интегрированные сети радиосвязи должны обеспечивать функционирование и сопряжение с работающими комплексами радиосвязи, а также и взаимодействие параметров новых программно-аппаратных комплексов, недавно поступивших на вооружение СССН [2].

На основе раскрытых ранее функциональных характеристик, которые входят в комплекс системных функций использования современных тенденций развития СССН, а также разнородных характерных способностей производимых средств радиосвязи 6-го поколения, можно выявить схему организации такой сети на рисунке 3.



Рис. 3. Схема реализации сети на основе технологий 6-го поколения

Данная схема сети интеграции функций будет показывать выборку взаимоувязанных сетей радиосвязи, собранных в единую сеть на основе мультисервисной технологии, которая даёт возможность предоставлять мультисервисные услуги выделенным абонентам. Такая сеть радиосвязи включает в себя следующие составляющие, которые не имеют зависимости между собой: сети распределенной (СР), которая будет состоять из магистральной опорной сети (МОС) и распределенных опорных сетей (РОС), и сетей радиодоступа (СРД) [4].

Рассматривая критерий многочисленности распространения, то можно сказать, что СРД занимает лидирующие позиции. Есть предположение, что радиостанции СРД смогут работать через мобильную базовую станцию.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что мультисервисная сеть является гетерогенной распределённой сетью, включающей в свой состав множество разнообразных по типу и строению радиосетей разных назначений, которые могут работать во многих допустимых диапазонах. Исходя из этого, абоненты сети будут взаимодействовать боне одним, а многими маршрутами транспортировки информации, что повлечет за собой повышение надёжности и отказоустойчивость сети. Для грамотного и оптимального использования предлагаемых сетей связи нужно по возможности использовать весьма усложнённые механизмы межканального доступа и перераспределения информационных потоков в структуре единой сети, при этом учитывать доступность ресурса в определённый момент времени и особенностей работы отдельных сетей [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лящук М. З., Ткачев Д. Ф. Проактивный алгоритм динамической маршрутизации в мобильных распределенных перспективных сетях // *Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире*. 2018. № 13-1 — С. 18-24. Ткачев Д. Ф., Лящук М. З.
2. Построение локальной сети, построенной на радиосредствах нового поколения // *Молодой ученый*. 2019. № 11 (115). С. 501-505. Лящук М. З., Ткачев Д. Ф.
3. Предложение по адресованию пользователей перспективной сети радиосвязи специального назначения // 2019. Т. 10. № 5. С. 32-35. Африкантов И. Н.
4. ГОСТа 3.1109-82 «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий» // 2009. с. 12-15.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО УСТРОЙСТВА ЗАДЕРЖКИ «КОД-НАПРЯЖЕНИЕ-ВРЕМЯ» В ПАССИВНОМ ЦИФРОВОМ СИНТЕЗАТОРЕ

Санкт-Петербургский государственный университет  
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Ключевые слова: пассивный цифровой синтез частот (ПЩС), конечный автомат (КА), модифицированный двухуровневый конечный автомат (МКА), счетчик импульсов (СИ), накапливающий сумматор (НС), управляемое устройство задержки (УУЗ), генератор стабильного тока, ключ тока (напряжения), цифроаналоговый преобразователь, компаратор.

Рассмотрены методы пассивного цифрового синтеза частот на основе накапливающего сумматора и делителя с дробно-переменным коэффициентом деления, дополненные управляемым устройством задержки. Управление задержкой необходимо для уменьшения функциональной фазоимпульсной модуляции, присущей данному методу синтеза частот. Управляемое устройство задержки построено на основе промежуточных преобразований кода задержки во временной интервал. Рассмотрена структура устройства и требования к ее элементам.

Y.A. Nikitin

## USING THE CONTROLLED DEVICE OF DELAY «CODE-VOLTAGE-TIME» IN A PASSIVE DIGITAL SYNTHESIS

Sankt-Petersburg branch of FSUE NIIR-LONIIR, Russia, St. Petersburg State University of Telecommunications named prof. M.A. Bonch-Bruevich

Key words: Passive digital frequency synthesis (DDS), finite state machine (FSM), modified two-level finite state machine (MFSM), pulse counter, accumulating adder (AA), controlled delay device (CDD), stable current generator, current (voltage) switch, digital-to-analog converter, comparator.

Methods of passive digital frequency synthesis based on an accumulator and a divider with a fractional-variable division ratio, supplemented by a controlled delay device, are considered. Delay control is necessary to reduce the functional pulse-phase modulation inherent in this frequency synthesis method. The controlled delay device is built on the basis of intermediate transformations of the delay code into the time interval. The structure of the device and the requirements for its elements are considered.

Задачей управляемого устройства задержки (УУЗ) является изменение временного положения импульса перепополнения  $\rho_k$  в (1)

$$\rho_k = \lfloor kQ/P \rfloor - \lfloor (k-1)Q/P \rfloor, \quad \rho_k \in (0, 1). \quad (1)$$

в соответствии с рис.1 или (2)

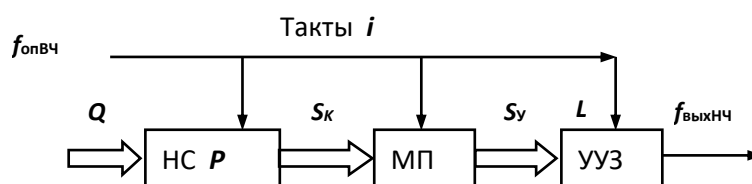


Рис. 1. Структурная схема двухуровневого КА на основе НС и УУЗ



$$\rho_k = \lfloor kP/Q \rfloor - \lfloor (k-1)P/Q \rfloor, \quad (2)$$

в соответствии с рис.2 на  $\Delta t_k$  в соответствии с (3)

$$\Delta t_i = \frac{S_i}{Q} = \left\{ i \frac{Q}{P} \right\}. \quad (3)$$

таким образом, чтобы устранить или уменьшить функциональную фазоимпульсную модуляцию (ФФИМ) на выходе двухуровневого МКА [1].

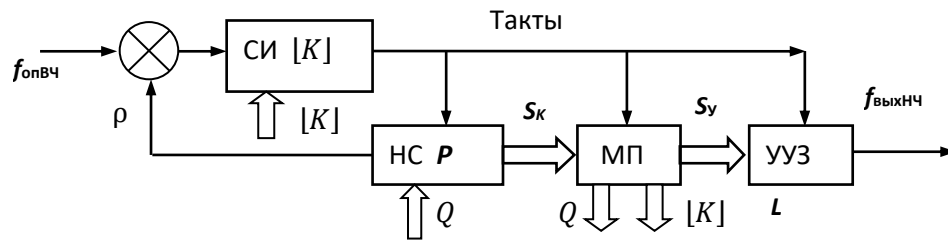


Рис. 2. Структурная схема КА на основе ДДПКД и УУЗ

Поскольку временной сдвиг в сторону опережения физически невозможен, простейшим решением является задержка  $\rho_k$  до следующего ближайшего импульса (перепада) гипотетической (идеально равномерной) последовательности требуемой частоты в интервале времен

$$\Delta t_k = t_k^{\text{макс}} (X_k = Q) \dots t_k^{\text{мин}} (X_k = 1)$$

в соответствии с формулой

$$\frac{t_{zk}}{T_0} = \frac{(Q-1)}{Q} - \frac{S_k}{Q} = \frac{X_k}{Q}, \quad (4)$$

при этом  $S_k$  может пробегать значения соответственно от 0 до  $Q - 1$ .

Для правильного функционирования УУЗ в составе широкополосного двухуровневого МКА следует выполнить два условия обеспечения диапазонности (требуемой широкополосности)

$$\frac{\Delta t_k}{T_0} = \frac{K_k}{Q}, \quad (5)$$

где  $K_k$  линейный коэффициент, и условие чистоты спектра (наибольшего подавления ФФИМ)

$$K_k = X_k.$$

Управление задержкой переключения можно реализовать с помощью промежуточных преобразований кода текущей задержки в напряжение (ток), а затем во временной интервал.

Для единообразного рассмотрения таких УУЗ во - первых, унифицируем их структуры таким образом, чтобы они содержали одинаковые элементы: ЦАП, управляемые генераторы тока на основе ЦАП, компараторы напряжения  $K$ , безынерционные ключи тока и напряжения и хранирующие емкости  $C$  [2].

Во-вторых, будем считать, что КА вырабатывает код управления  $X_k$  в соответствии с (5), т.е.  $X_k$  содержит полную информацию о величине текущей (мгновенной) фазовой ошибки, но конечное число  $n$  двоичных разрядов ЦАП вынуждает использовать для управления УУЗ

приближенный код  $Y_k < X_k$  ( $Y_{\max} = 2^n - 1 < Q$ ), который получен усечением младших разрядов управляющего слова  $X_k$ .

В-третьих, ограничим диапазон синтезируемых частот  $f_{\text{выхнч}} \in F_S (Q_{\max} \dots Q_{\min})$  одной октавой ( $Q_{\max} = 2Q_{\min}$ ) при двоичном управлении  $Q$ .

Последнее обстоятельство не сужает общности рассуждений, поскольку расширение диапазона синтезируемых частот «вниз» без изменения режима работы УУЗ легко достигается подключением к выходу УУЗ цепочки триггеров (двоичных счетчиков импульсов СИ).

В первом варианте УУЗ1 выходной импульс (активный перепад) КА запускает процесс промежуточных преобразований с целью калиброванного сдвига этого импульса (активного перепада) на заданную величину, пропорциональную коду управления задержкой, например, используя преобразование «код – напряжение – время» (рис. 3).

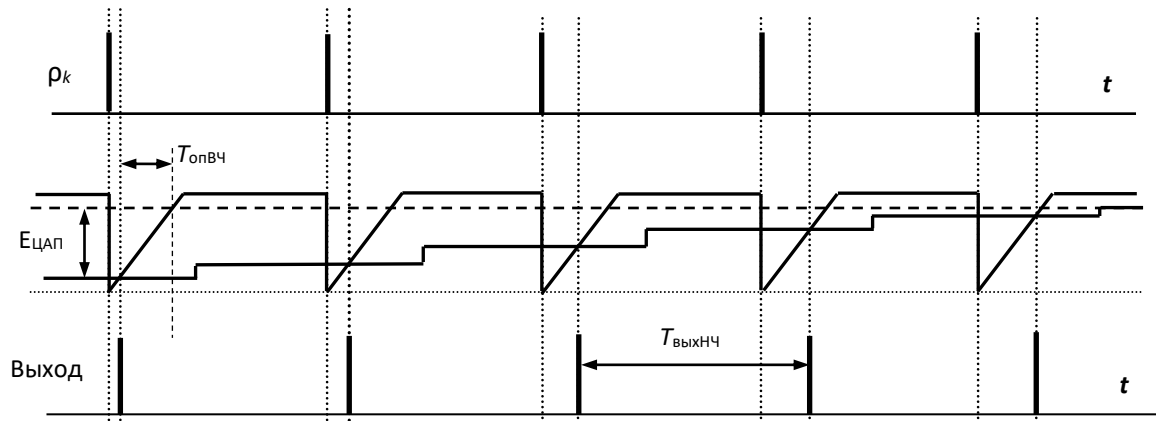


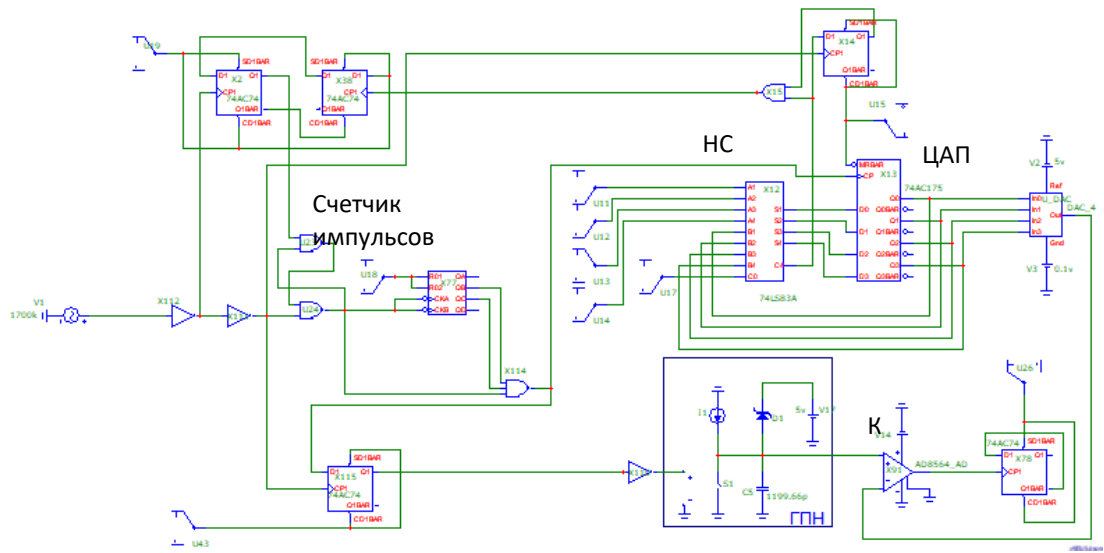
Рис. 3. Управляемое устройство задержки на основе преобразования «код-напряжение-время»

Импульс переполнения  $\rho_k$  запускает генератор пилообразного напряжения (ГПН) наносекундного диапазона. Пилообразное напряжение с выхода ГПН подается на первый вход компаратора  $K$  (рис. 3). На второй вход компаратора  $K$  поступает напряжение с выхода ЦАП, пропорциональное коду требуемой задержки.

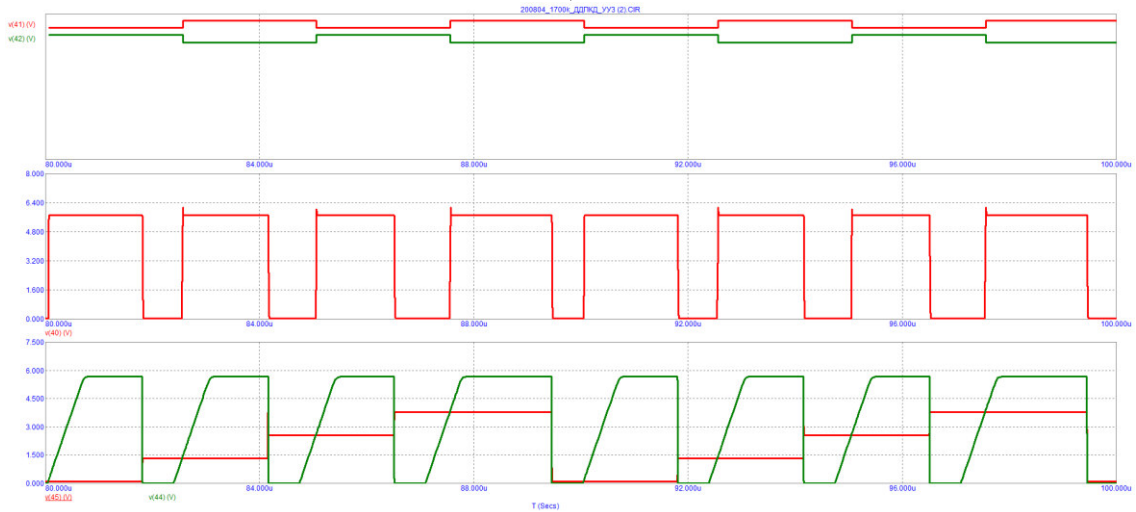
Выход компаратора формирует двухуровневую последовательность импульсов или активных перепадов, которая является КРП, как и на входе, но с новыми параметрами – рис.4. Если принять, что период интерполяции в УУЗ равен  $\tau_0 = T_{\text{опвч}}/L$ , где  $L$  – разрядность (число градаций задержки) УУЗ, то эквивалентный коэффициент деления КА увеличится и станет равным

$$N_{\text{ЭКВ}} = LP/Q.$$

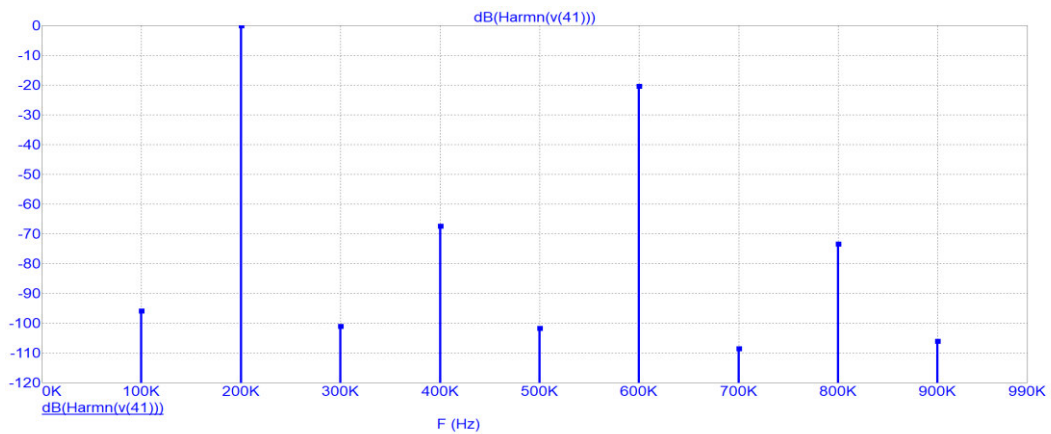
Иными словами, введение в структуру КА управляемого устройства задержки в линейном приближении эквивалентно увеличению входной частоты  $f_{\text{опвч}}$  в  $L$  раз [3].



а)



б)



в)

Рис. 4. Модель синтезатора частоты на основе делителя с дробно-переменным коэффициентом деления и управляемого устройства задержки первого типа, а), временные диаграммы его работы. б), спектр на выходе, в)

Реально достижимый выигрыш при использовании УУЗ1 составляет 43...48 дБ и ограничен рядом факторов. Прежде всего, это нелинейность генератора пилообразного напряжения (ГПН) наносекундного диапазона (рис. 2), нелинейное изменение емкости  $p-n$  переходов ключей напряжения, а также конечное быстродействие компаратора и ЦАП. Напряжение на выходе ЦАП вследствие конечного выходного сопротивления и емкости устанавливается с заданной точностью за определенное время [2].

Задержанный импульс (перепад напряжения) на выходе компаратора  $K$  (рис. 4) появляется в момент равенства напряжения  $U_{ЦАП}$  и  $U_{ГПН}$ , т.е. при  $U_{ЦАП}(X) = U_{ГПН}(t)$ , где  $U_{ЦАП}(X) = X \times E$ ;  $0 \leq X < 1$  – код требуемой задержки;  $E$  – размах напряжения на выходе ЦАП, соответствующий  $\tau_3 = T_{опВч}$ .

После деления частоты в два раза, на выходе счетного триггера образуется колебание вида квазимерандр, в котором уровень полезной компоненты спектра имеет максимальное значение.

Гармоники выходного колебания легко отфильтровываются с помощью простейшего фильтра нижних частот, а амплитуды субгармоник существенно уменьшены (в  $L$  раз) вследствие введения в структуру синтезатора управляемого устройства задержки.

#### Список используемых источников:

1. Никитин Ю.А. Цифроаналоговый синтез частот. Теория и схемотехника: [монография]/Ю. А. Никитин. – СПб.: Изд-во СПб ГУТ, 2018. – 367 с.
2. Никитин, Ю.А. Влияние нелинейности модифицированного конечного автомата на временную нестабильность формируемого колебания/Известия вузов. Приборостроение.1991. №5, с.28-33.
3. Гуревич, И.Н., Никитин Ю.А. Управляемые устройства задержки в системах двухуровневого синтеза частот //Радиотехника. – 1993. – № 10–12. – С. 13–20.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ЦИФРОАНАЛОГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВТОРОГО ТИПА

Санкт-Петербургский государственный университет  
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Ключевые слова: Цифроаналоговый преобразователь, управляющий код, шаг квантования, арифметический сумматор, аналоговый сумматор, нониус, мерная шкала.

В статье представлены основные проблемы обеспечения точности ЦАП и один из путей их преодоления. Основными проблемами при построении параллельных цифроаналоговых преобразователей (ЦАП) являются конечная точность реализации аналоговых элементов (матрицы  $R-2R$ , ключей тока – напряжения) и (или) конечное быстродействие указанных узлов. Проведено моделирование нониусного ЦАП второго типа с среде *MicroCap11*, которое подтвердило работоспособность и точность ЦАП.

Y.A. Nikitin

### SIMULATION OF PARALLEL DIGITAL TO ANALOG CONVERTER TYPE 2

Saint Petersburg State University telecommunications them. prof. M.A. Bonch-Bruevich

Key words: Digital-to-analog converter, control code, quantization step, arithmetic adder, analog adder, vernier, measured scale.

The article presents the main problems of ensuring the accuracy of the DAC and one of the ways to overcome them. The main problems in the construction of parallel digital-to-analog converters (DAC) are the final accuracy of the implementation of analog elements ( $R-2R$  matrix, current-voltage switches) and (or) the final speed of these nodes. The simulation of the second type vernier DAC with the *MicroCap11* environment has been carried out, which has confirmed the efficiency and accuracy of the DAC.

В классических параллельных цифроаналоговых преобразователях (ЦАП) из единственного опорного сигнала  $Y$  формируют сигналы с соответствующими значениями (весами) разрядов входного управляющего кода  $X$ , которые затем суммируют и образуют дискретные значения выходной аналоговой величины  $Z$  – напряжения или тока [1].

Типичная структура такого ЦАП приведена на рис.1 [1].

Будем считать, что цифровой код управления позиционный, а система счисления с основанием  $a$  двоичная ( $a = 2$ ).

Для двоичного ЦАП выходной сигнал определяется следующим образом:

$$Z = hY(a_{k-1}2^{k-1} + a_{k-2}2^{k-2} + \dots + a_02^0),$$

где  $Y$  — опорный (эталонный) сигнал;  $q \in (a_0, a_1, \dots, a_{k-1}) \equiv [0,1]$ , — коэффициенты двоичных разрядов, принимающие значения «0» или «1»;

$k = 0, 1, \dots, \psi-1$  — номер двоичного разряда;

$h$  — коэффициент пропорциональности.

Величина ступеньки (шага квантования) на выходе такого ЦАП равна  $s = Y/(a^\psi - 1)$ . В этом случае  $Z = Y \times X$  и имеет место "классическое" преобразование  $X \Rightarrow Z$ , причем точность преобразования является линейной функцией точности элементарных электронных компонентов ЦАП – резистивных (конденсаторных) матриц, ключей тока (напряжения) и т.д.,

т.е. определена технологией изготовления конкретной микросхемы ЦАП и конечной точностью (разбросом) номинальных значений его внутренних элементов.

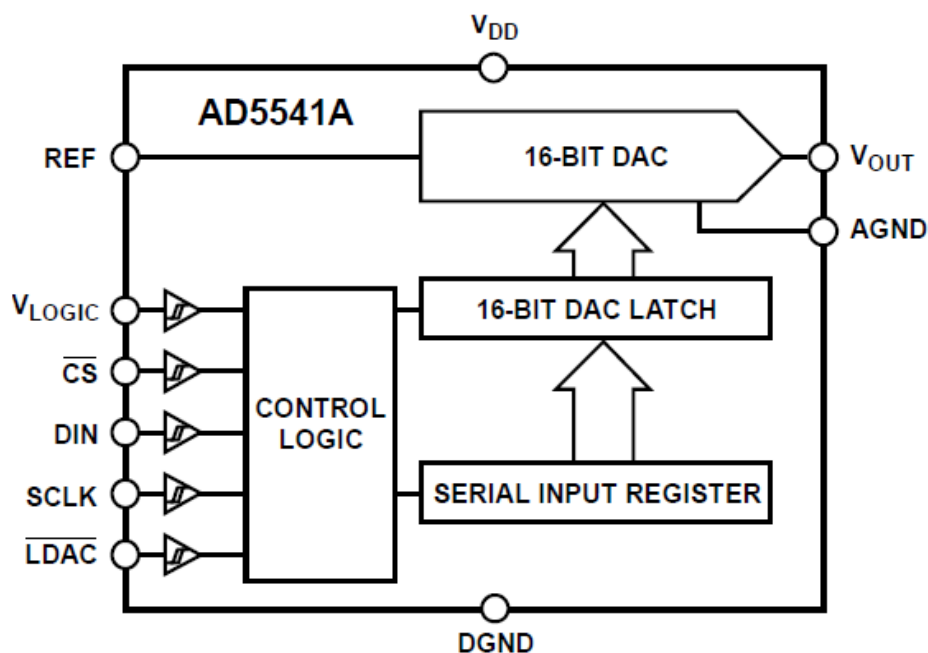


Рис. 1. Типовая структура микросхемы ЦАП AD5541 с последовательным цифровым интерфейсом

Погрешность преобразования в течение последних 20 лет практически не изменилась и не превышает 12...14 бит. Данные производителей микросхем о достигнутой точности 18...20 бит нивелируются приведенными ими же цифрами [интегральной] нелинейности преобразования кода управления в 4...7 и более единиц младшего значащего разряда ЦАП [2]. Поэтому характеристики преобразования реальных ЦАП отличаются от идеальных формой, величиной ступеней и их расположением относительно осей координат.

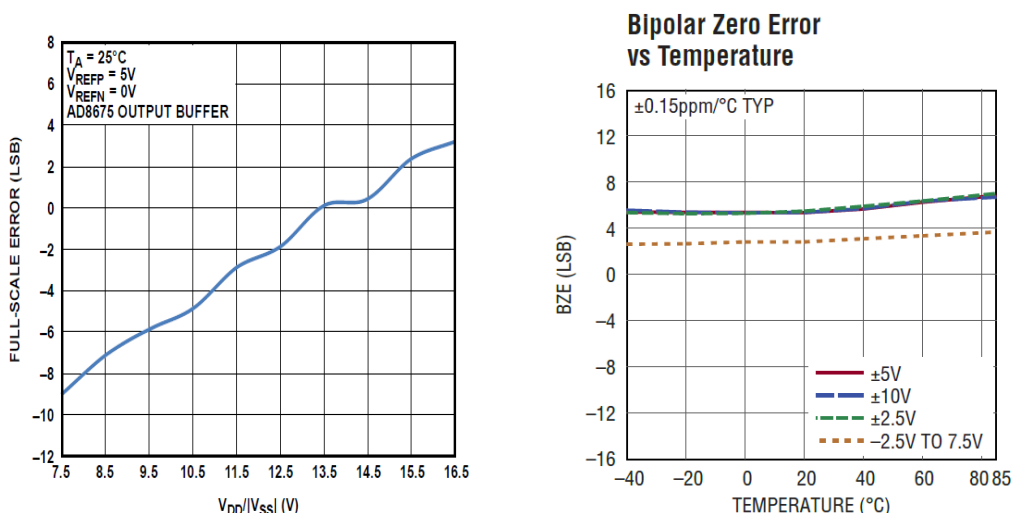


Рис. 2. Погрешности прецизионных ЦАП AD8675 (слева) и LTC2756 (справа)

Для увеличения точности преобразования можно усложнять внутреннюю структуру ЦАП, увеличивать точность и стабильность параметров используемых элементов, но только в пределах возможностей производства [3]. В настоящее время указанные причины ограничивают максимально достижимую точность параллельного ЦАП 18...20 двоичными разрядами (битами) кода управления  $X$ .

Однако в рассмотренном способе цифроаналогового преобразования (рис.3) необходимо обеспечить высокую точность и 14-битовой матрицы  $R-2R$ , и 63-и резисторов  $2R$  матрицы токов

шести младших разрядов. К этим двум аналоговым узлам структуры предъявляются жесткие требования по точности и температурной стабильности во всем диапазоне рабочих частот.

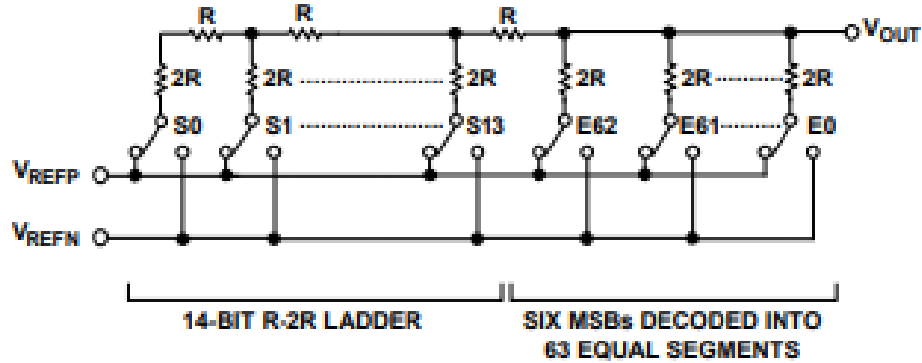


Рис. 3. Комбинированная структура матриц формирования весовых токов в 20-битном ЦАП

В основу предлагаемого способа (рис.4) положен принцип нониусного преобразования [4] - использование двухмерных шкал, находящихся в дробно - кратном соотношении, т.е. осуществление пары преобразований  $X \Rightarrow Z_1$ ;  $X \Rightarrow Z_2$ ;  $Z_1, Z_2 \Rightarrow Z_0$ .

Иными словами, присутствует пара мерных шкал (опорных сигналов  $Y$ ), связанных зависимостью:

$$Y_2 = Y_1(1 \pm a^{-\alpha}). \quad (1)$$

Данные преобразования обеспечивают требуемую точность преобразования цифрового кода управления  $X$  в аналоговую величину  $Z_0$ :

$$Z_0 = Y_1 \left\{ \sum_{k=1}^{\alpha} q_{\alpha} a^{-\alpha} + a^{-\alpha} \sum_{k=1}^{\beta} q_{\beta} a^{-\beta} \right\},$$

Причем требования к высокой точности предъявляются только к источникам опорного сигнала – тока или напряжения  $Y_1$  и  $Y_2$  на постоянном токе и в одной точке шкалы.



Рис. 4. Второй способ нониусного цифроаналогового преобразования

Структурная схема второго варианта построения нониусного цифроаналогового преобразователя, приведена на рис.4. На ней показана структурная схема одного из возможных вариантов построения нониусного цифроаналогового преобразователя (ЦАП), реализующего предлагаемый способ:

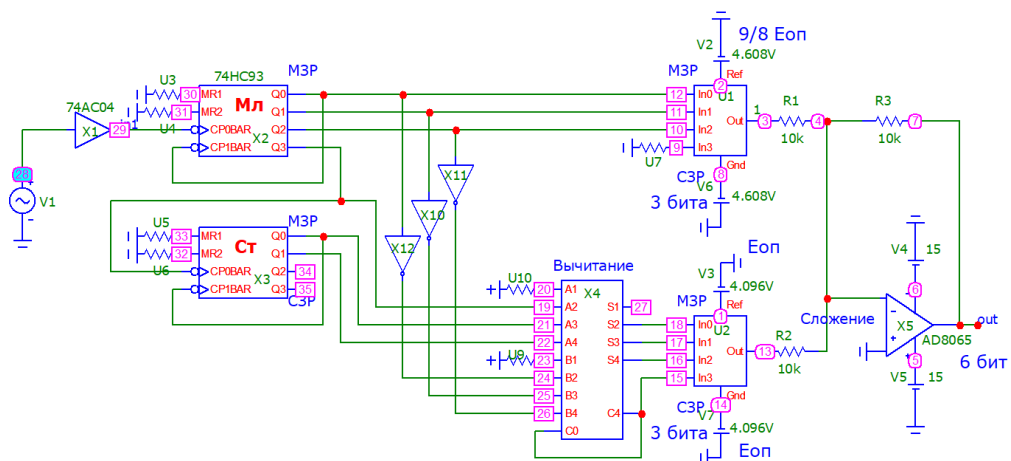
Цифровой 7 умножитель, в котором младшие  $\beta a^{-\alpha}N$  разрядов управляющего слова  $a^{-\alpha}N$  подвергаются цифровому умножению в  $a^\alpha$  раз (сдвиг влево на  $\alpha$  разрядов). На рис.4 также имеются источник 6 опорного сигнала  $Y_1$  и источник 9 опорного сигнала  $Y_2$ , ЦАП\_1, аналоговый 12 сумматор, ЦАП\_2 и ЦАП\_3. При этом выходная шина  $\alpha$  старших разрядов управляющего слова  $M$  подключена к соответствующей входной шине управления ЦАП\_1, к другому входу которого подключен выход источника 6 опорного сигнала  $Y_1$ . Выход ЦАП\_1 соединен с соответствующим входом аналогового 12 сумматора, к другим входам которого подключены выход ЦАП\_2 и выход ЦАП\_3, а на входную шину управления ЦАП\_2 и ЦАП\_3 поданы  $\beta$  младших разрядов управляющего слова  $N$  (управляющее слово  $a^{-\alpha}N$ , подвергшееся цифровому умножению в  $a^\alpha$  раз (сдвиг влево на  $\alpha$  разрядов), другой вход ЦАП 2 соединен с выходом источника 6 опорного сигнала  $Y_1$ , а соответствующий (аналогичный) вход ЦАП\_3 соединен с выходом источника 9 опорного сигнала  $Y_2$ , причем мерные шкалы (опорные сигналы)  $Y_1$  и  $Y_2$  связанных зависимостью (1). На выходе аналогового 12 сумматора имеем выходной аналоговый сигнал  $Z_0$ .

На рис.5,а приведена упрощенная 6-битовая модель такого ЦАП с трактом цифрового вычитания, а на рис. 5,б – временные диаграммы его работы. Моделирование структуры [4] полностью подтвердило ее работоспособность и заявленную точность преобразования.

При производстве нониусных ЦАП потребуются АЦП той же точности, что и у ЦАП, что не является серьезной проблемой, поскольку сейчас выпускаются микросхемы сигма-дельта АЦП с разрядностью 24 бит [5,6] и 32 бит [7], что позволяет реализовать ЦАП 32 бит и более.

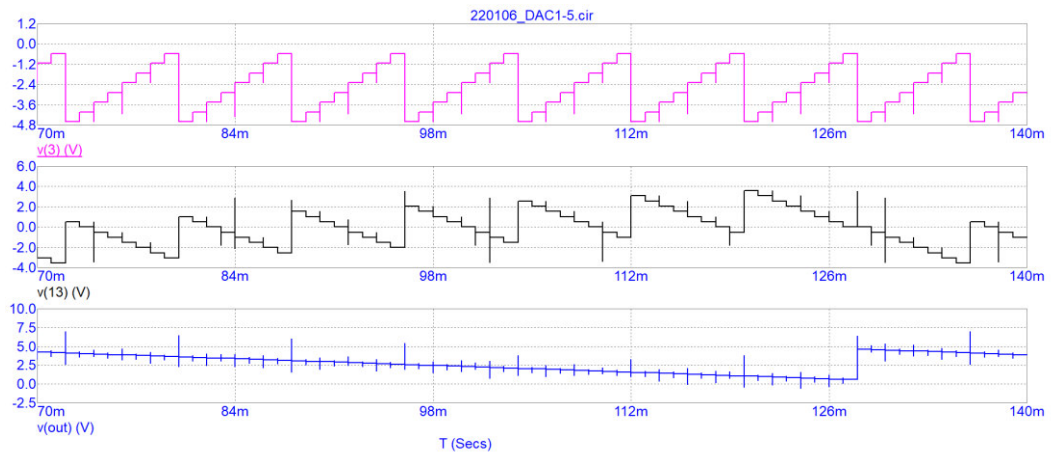
Таким образом, имея пару мерных шкал, связанных соотношением (1), можно получить двойную точность преобразования цифрового кода управления в выходной аналоговый сигнал – ток или напряжение, которая на порядки превышает точность преобразования исходных ЦАП.

Кроме того, рассматриваемый способ нониусного преобразования позволяет, при необходимости, значительно увеличить быстродействие ЦАП, уменьшив вдвое разрядность исходных элементов.



а)





б)

Рис. 5. Модель нониусного ЦАП второго типа, а)  
и временные диаграммы его работы, б)

Моделирование структуры [4] полностью подтвердило ее работоспособность и заявленную точность преобразования.

Список используемых источников:

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем.- М. Мир, 1982. – 512 с.
2. [www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad5790.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad5790.pdf)
3. [www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/2756fa.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/2756fa.pdf)
4. Никитин Ю. А. Способ нониусного цифроаналогового преобразования. Пат. 2726911 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель Никитин Ю.А. – № 2019120873; заявл. 02.07.2019; опубл. 16.07.2020, БИ № 20
5. [www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad4630-24.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad4630-24.pdf)
6. [www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7771.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7771.pdf)
7. [www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/250032fb.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/250032fb.pdf)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ WI-FI В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: Wi-Fi, электромагнитная совместимость, скорость передачи данных.

В статье экспериментально проверены факторы, которые влияют на передачу информации с помощью Wi-Fi, а именно: количество одновременно подключенных к точке доступа устройств, уровень сигнала на входе приемника, точки доступа работающие на перекрывающихся частотах.

D.A. Ovchinnikov, A.A. Anokhin, A.A. Sitnikova

## INVESTIGATION OF THE DATA TRANSFER RATE USING WI-FI TECHNOLOGY DEPENDING ON THE ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Key words: Wi-Fi, electromagnetic compatibility, data transfer rate.

The article experimentally tested the factors that affect the transmission of information using Wi-Fi, namely: the number of devices simultaneously connected to the access point, the signal level at the receiver input, access points operating at overlapping frequencies.

Общеизвестно, что в беспроводных сетях в роли среды распространения сигнала используется свободное пространство, то есть работа устройств, и передача данных происходит в одном канале связи. В связи с этим на работу беспроводных сетей воздействует большее количество различного рода помех [1].

Помехи нарушают нормальную работу сети, так как вызывают ухудшение энергетических характеристик сигнала: искажают его форму, вносят дополнительные затухания, нарушают синхронизацию передатчика и приемника, что вызывает потерю информации и снижение скорости передачи данных. Для исследования этой проблемы был поставлен ряд экспериментов, целью которых является поиск зависимости скорости передачи данных по беспроводным технологиям, в частности Wi-Fi, в зависимости от изменения электромагнитной обстановки.

В Wi-Fi сетях используются два частотных диапазона – 2.4 ГГц и 5 ГГц. Исследования выполнялись в диапазоне 2.4 ГГц, но полученные результаты можно экстраполировать и на частотный диапазон 5 ГГц.

В диапазоне 2.4 ГГц существует 14 частотных каналов. Три из них условно неперекрывающиеся – это 1, 6 и 11 каналы (рис.1).

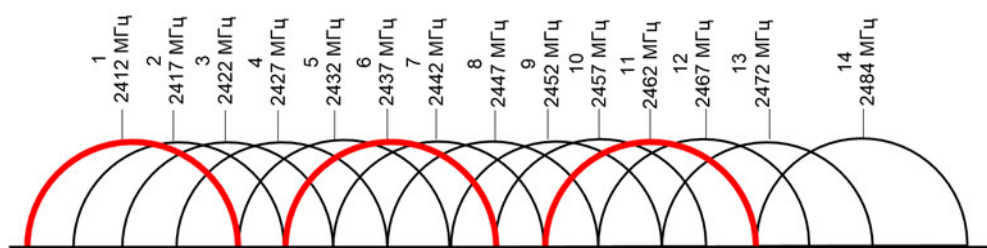


Рис.1 – Каналы диапазона 2,4 ГГц

В силу широкого распространения Wi-Fi и одновременной работы многих устройств использовать только непрерывающиеся частоты невозможно. Современные точки доступа позволяют автоматически изменять частотный канал в зависимости от электромагнитной обстановки, что улучшает ситуацию, но не решает проблему полностью. Кроме того, даже устройства, находящиеся в одной сети оказывают негативное влияние друг на друга.

Для исследования на точка доступа был принудительно выставлен 11 канал с шириной полосы 20 МГц, что показано на рис.2 (сеть SmartHomeLab). Уровень сигнала от соседних устройств мал по сравнению с основным, что не должно вносить существенных искажений в конечный результат.

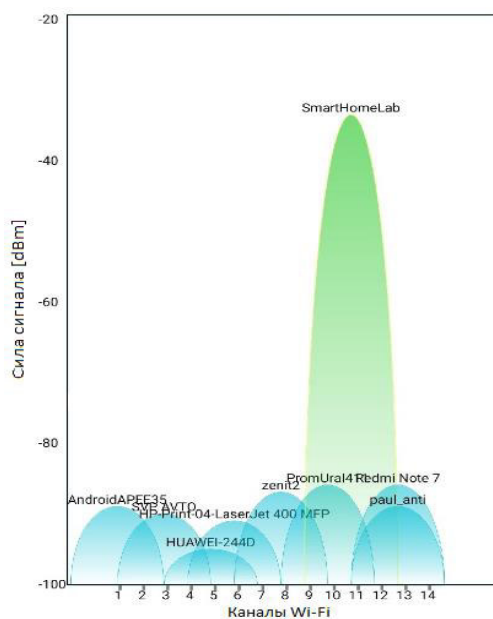


Рис. 2 – Электромагнитная обстановка в лаборатории

На рис. 3 изображены спектрограммы Wi-Fi сигнала во время передачи и при пассивном нахождении устройства в сети.

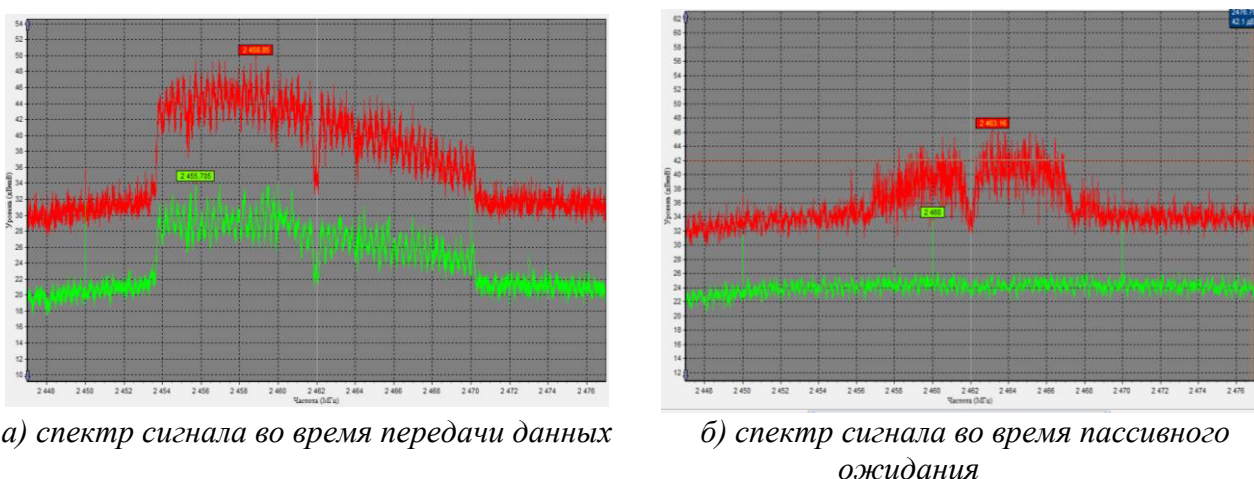


Рис. 3 – Использование спектра радиоэффира Wi-Fi устройствами

На рисунке нижний график (зеленый) это мгновенное значение спектра, верхний график (красный) накопление всех отчетов за 5 секунд. При пассивном ожидании на графике

мгновенных значений обмена данных не видно, но по накопленным значениям можно судить, что устройства непрерывно общаются между собой во всей полосе частот небольшими пакетами. При ожидании более 15 секунд графики с накоплением отчетов при активной передаче данных и пассивном ответе становятся идентичными.

При исследованиях создавалась локальная сеть с общей сетевой папкой из которой скачивался файл размером примерно 10 Гб на подключённые устройства. Такая модель позволяет устранить возможные ограничения сети интернет или скорости чтения файлов с диска.

Было поставлено 5 различных экспериментов:

1) Исследование зависимости скорости передачи данных от количества подключенных к сети и одновременно производящих загрузку устройств. В измерении задействованы одна точка доступа и четыре устройства (для всех исследований были использованы идентичные между собой ноутбуки). Первые 5 минут к маршрутизатору было подключено одно устройство и производило загрузку данных из сети. Затем каждые 5 минут подключалось новое устройство и делало то же самое. Длительность измерения составила 20 минут для исключения случайного изменения скорости. На рисунках 4 и 5а представлен результат проведения исследования.

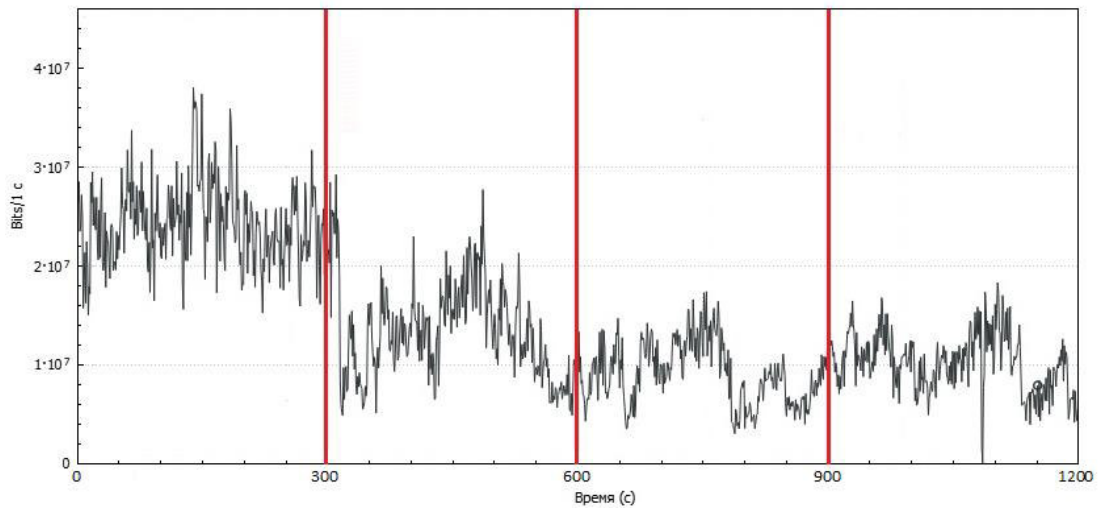
2) Исследование зависимости скорости передачи данных от количества подключенных в сеть устройств, причем только одно устройство ведет передачу данных, остальные – являются пассивно подключенными. В измерении задействованы одна точка доступа и четыре устройства. Первые 5 минут к маршрутизатору было подключено одно устройство и производило загрузку данных из сети. Затем каждые 5 минут подключалось пассивное устройство. Длительность измерения составила 20 минут. На рисунке б представлен результат проведения исследования.

3) Исследование влияния мощности сигнала на входе приемника на скорость передачи данных. В измерении задействованы одна точка доступа и одно устройство. Исходный уровень сигнала передачи составлял 95%. Затем расстояние между устройством и точкой доступа увеличивалось настолько, чтобы уровень сигнала снижался примерно на 15%. Так каждые 1,5 минуты расстояние увеличивалось. Общая длительность измерения составила 7,5 минут. На рисунке 5 представлен результат проведения исследования с указанием уровня сигнала.

4) Исследование интерференции радиоволн (конфликты Wi-Fi точек доступа) с нагрузкой на один маршрутизатор. В измерении задействованы четыре точки доступа и одно устройство. Первые 5 минут в лаборатории вещал только один маршрутизатор с нагрузкой (активным устройством). Затем каждые пять минут на том же самом канале начинала вещание еще одна точка доступа. Длительность измерения составила 20 минут. На рисунке 6а представлен результат проведения исследования.

5) Исследование интерференции радиоволн с нагрузкой на два маршрутизатора. В измерении задействованы четыре точки доступа и два устройства. Исследование аналогично предыдущему, однако помимо нагрузки на первую точку доступа, подключалась нагрузка на третью. Длительность измерения составила 20 минут. На рисунке 6б представлен результат проведения исследования.

Для проведения измерений использовалась программа Wireshark, пример графика, который составлен программой, продемонстрирован на рис. 2.



*а) работа одного устройства*

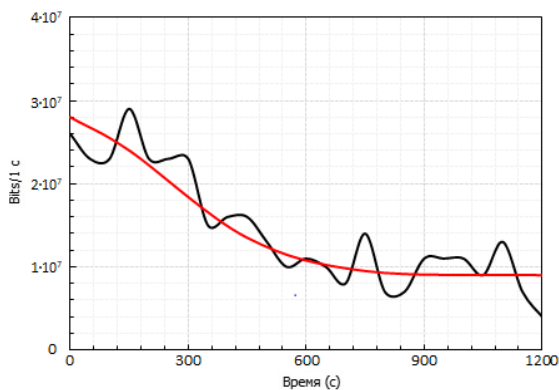
*б) работа двух устройств*

*в) работа трех устройств*

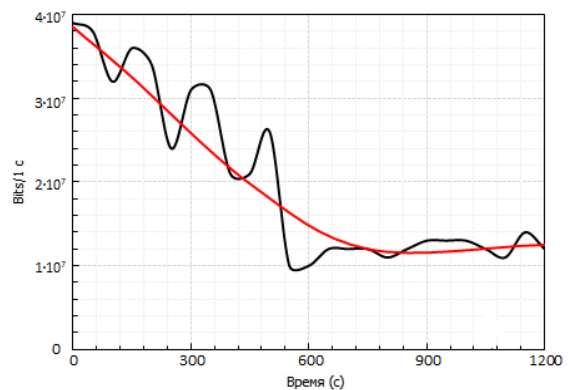
*г) работа четырех устройств*

Рис. 4 – Зависимость скорости передачи данных от числа подключаемых устройств  
 На графике показана работа одного устройства, одновременная работа двух, трех и четырех устройств, соответственно.

Из графика просматривается экспоненциальная закономерность. За промежуток времени была вычислена средняя скорость и построен график, на котором видна экспонента, рис. 4а. Для всех остальных экспериментов приведены уже аппроксимированные графики.



*а) работа нескольких устройств*



*б) работа одного устройства*

Рис. 5 – Зависимость скорости передачи от числа подключаемых устройств

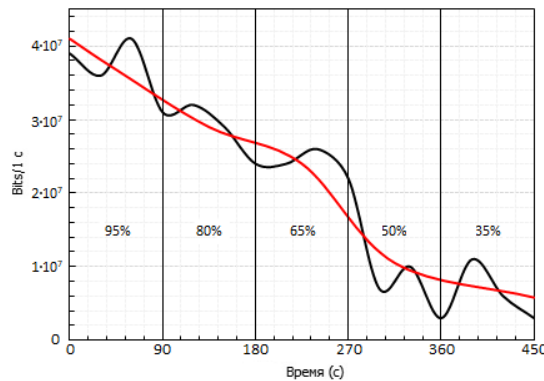
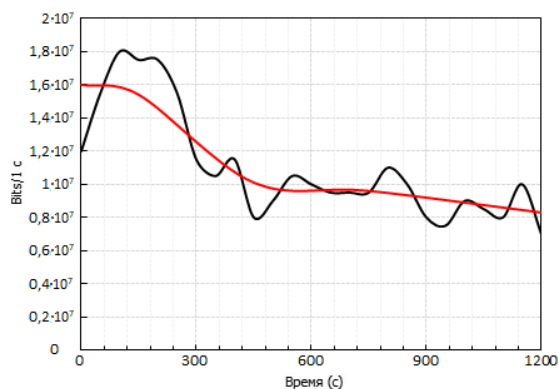
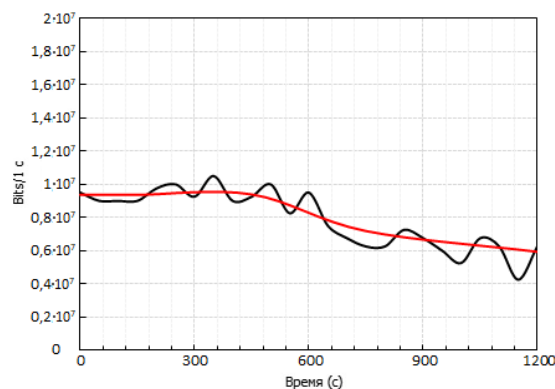


Рис. 6 – Зависимость скорости передачи информации от мощности сигнала на входе приемника



а) нагружена одна точка доступа



б) нагружены первая и третья точки доступа

Рис. 7 – Зависимость скорости передачи от числа подключаемых роутеров

Известно, что количество подключенных к точке доступа устройств напрямую влияет на скорость Wi-Fi-сигнала: чем больше устройств, тем ниже скорость. Если к роутеру подключается сразу несколько устройств, каждому устройству будет обеспечена более медленная работа. График, который получился в результате первого исследования, рис. 5а, показывает, что при подключении второго устройства отчетливо видна просадка по скорости передачи. Подключение третьего устройства дает меньшее снижение, а четвертого – в районе погрешности.

Результат второго исследования, рис. 5б, подтверждает первое: даже пассивно подключенные к точке доступа устройства достаточно сильно снижают скорость передачи данных. Таким образом, нужно принудительно ограничивать количество устройств для комфортного пользования сетью.

На сегодняшний день, стандарта работы Wi-Fi сети, при котором все устройства получают полноценную скорость, ещё не разработали. Поэтому каждый подключившийся, даже в случае отсутствия пользовательского трафика, снижает скорость для остальных участников сети.

Следствием третьего исследования, рис. 6, является то, что скорость снижается нелинейно. Если при 95-65% потеря скорости была не критична, то начиная с 50% падение скорости происходит примерно в 10 раз. Исходя из этого можно сделать вывод, что использовать точку доступа, при этом не наблюдая сильных потерь скорости, можно при уровне сигнала в 100-50% (или не ниже 3 из 5 делений шкалы качества соединения на устройстве).

Снижение уровня сигнала наблюдается вследствие удаления устройства от точки доступа или при отсутствии прямой видимости между передатчиком и приемником, так как все электромагнитные волны, теряют мощность сигнала с увеличением расстояния, это обуславливается затуханием. Затухание является наиболее важным фактором для определения дальности действия Wi-Fi. Внутренние и наружные среды вызывают затухание сигнала из-за сочетания рассеяния, отражения, помех и потерь на пути. Помехи изменяют исходный сигнал, из-за чего антенна приемника не может его уловить. [2]. Таким образом, в общем случае для квартир или административных зданий расстояние, на котором можно иметь хорошие показатели скорости составляет не более 15 метров.

При анализе графиков четвертого и пятого исследований на рис. 7 видно: разные точки доступа, которые работают на одной частоте, конфликтуют друг с другом. При наличии трех аналогичных маршрутизаторов скорость падает в 2 раза.

Wi-Fi – среда с общим доменом коллизий. Чем больше устройств работают на одном канале ( $\pm 2$  соседних), тем выше вероятность того, что устройства одновременно попытаются передать пакет. Каждая такая коллизия требует задержки перед повторной попыткой передачи, что снижает суммарную скорость всего канала. При этом неважно, к одной или нескольким точкам доступа подключены устройства, домен коллизий один на канал [3]. Поэтому при низкой передаче данных в сети нужно: проверить уровень сигнала и выставить маршрутизатор в наиболее оптимальное место; принудительно выбрать наименее загруженный канал;

ограничить количество подключенных устройств. Однако, если незагруженных каналов в диапазоне 2,4 ГГц не осталось, стоит перейти на 5 ГГц, так как данный диапазон предлагает больше непересекающихся каналов с меньшей нагрузкой.

Таким образом, в статье практическим методом были подтверждены теоретические данные о влиянии на скорость распространения Wi-Fi-сигнала. Анализ полученных в результате исследования графиков показывает, что к снижению скорости приводит загруженность точки доступа, большое расстояние до нее, а также конфликты с другими точками доступа. При наличии других вещающих на том же канале маршрутизаторов скорость уменьшается в 2 раза; при увеличении расстояния до точки доступа – вплоть до 15 раз; при подключении к ней дополнительных устройств – в 3,5 раза.

Все эти факторы как вместе, так и по отдельности оказывают огромное влияние на скорость работы сети. К примеру, для комфортного просмотра онлайн трансляции или видеоконференции в качестве 1080p60 количество устройств должно быть не более трех, а для комфортной работы в сети – не более четырех.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Что влияет на работу беспроводных сетей Wi-Fi [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://help.keenetic.com/hc/ru/articles/213968709> – Загл. с экрана.
2. Влияет ли расстояние от устройства до маршрутизатора Wi-Fi на скорость загрузки [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://ropmech-ru.turbopages.org/ropmech.ru/s/editorial/771043/> – Загл. с экрана.
3. Как бороться с сигналами wi-fi маршрутизаторами соседей, использующих те же каналы? [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://qna.habr.com/q/157403> – Загл. с экрана.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ РАДИОВОЛН ОТ ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, отражение радиоволн, свойства воды.

В статье рассмотрена зависимость коэффициентов отражения и затухания радиоволн на границе раздела сред воздух – вода при различных частотах и углах падения. Комплексная диэлектрическая проницаемость воды получена аналитическим методом, который учитывает температуру среды, ее соленость и частоту радиоволн, воздействующих на нее.

D.A. Ovchinnikov, S.A. Baranov, S.U. Krasnykh

## RESEARCH OF THE DEPENDENCE OF THE RADIO WAVES REFLECTION FROM THE WATER SURFACE DEPENDING ON ITS TEMPERATURE AND SALINITY

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Key words: material permittivity, reflection of radio waves, water properties

The article considers the dependence of the coefficients of reflection and attenuation of radio waves at the interface between air and water at different frequencies and angles of incidence. The complex permittivity of water was obtained by an analytical method that takes into account the temperature of the medium, its salinity and the frequency of radio waves acting on it.

Вопросы рефракции радиоволн играют важную роль. У реальных сред наряду с диэлектрической проницаемостью также присутствует проводимость, что приводит к комплексному виду относительной диэлектрической проницаемости:

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

где  $\varepsilon'$  – действительная часть (далее на графиках обозначена как  $\varepsilon d$ );  
 $\varepsilon''$  – мнимая часть (далее на графиках обозначена как  $\varepsilon m$ ).

Действительная часть характеризует ток проводимости, то есть диэлектрические или проводящие свойства среды; мнимая часть характеризует ток утечки, то есть потери.

Процессы отражения от идеальных диэлектриков исследованы давно и достаточно подробно. В работе приводятся обобщенные результаты по отражению плоской волны от поверхности среды с потерями, а именно воды разной солености с учетом изменения ее температуры.

Так как статья преследует цель лишь показать динамику воздействия воды на распространение радиоволн, то ее свойства должны носить обобщенный характер, то есть описывать большинство ситуаций, без учета индивидуальных особенностей, например, разницу между проточной водой из крана и дождевой.

В соответствии с этой целью, использовалась методика расчета комплексной относительной диэлектрической проницаемости воды, приведенная в рекомендациях МСЭ-R



Р.527-4 «Электрические характеристики земной поверхности» [1]. Однако, эти результаты сопоставимы с экспериментально полученными значениями в [2].

Рассмотрены пресная вода и соленая, соленость последней принята солености мирового океана примерно равной 3,5%. Оценка температурной зависимости выполнена в диапазоне от плюс 1 °C до плюс 20 °C; частотный диапазон охватывает почти весь спектр радиоволн и находится в диапазоне от 10 МГц до 100 ГГц.

На рисунках 1 и 2 приведены графики зависимости комплексной относительной диэлектрической проницаемости чистой и соленой воды в зависимости от частоты при температурах 1 °C и 20 °C.

На рисунках 3 и 4 приведены графики зависимости комплексной относительной диэлектрической проницаемости чистой и соленой воды в зависимости от температуры при частотах 0,1 ГГц и 10 ГГц. Частоты соответствуют крайним диапазонам наиболее используемого спектра частот. Температура лежит в пределах от +1 до +20 градусов Цельсия, что соответствует годовым изменениям.

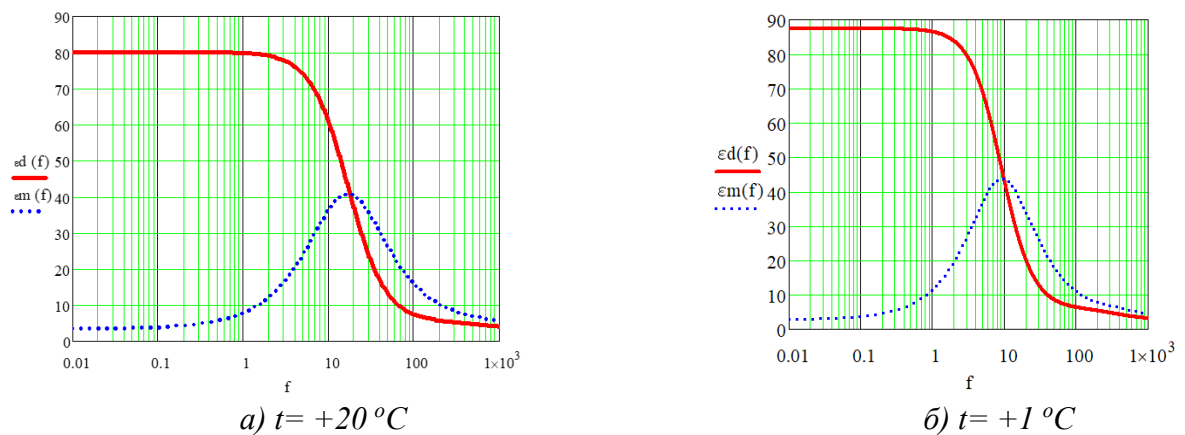


Рисунок 1 – Зависимость относительной комплексной диэлектрической проницаемости пресной воды в зависимости от частоты (ГГц)

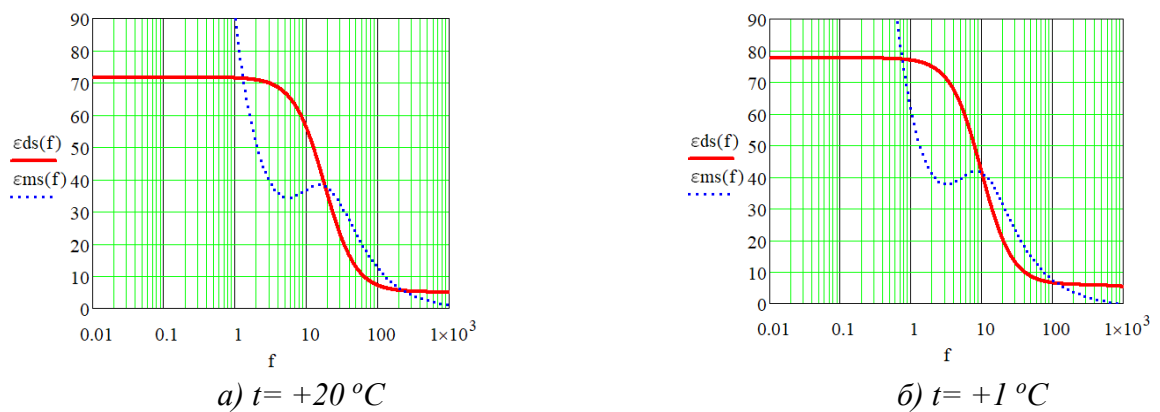


Рисунок 2 – Зависимость относительной комплексной диэлектрической проницаемости соленой воды в зависимости от частоты (ГГц)

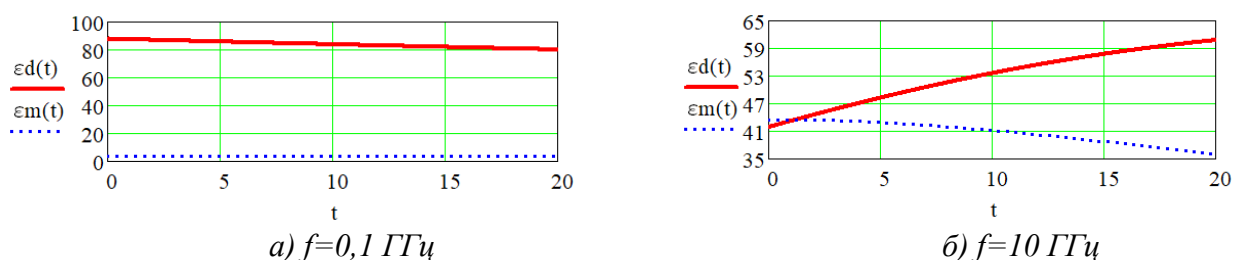


Рисунок 3 – Зависимость относительной комплексной диэлектрической проницаемости пресной воды в зависимости от температуры  $t$  °C

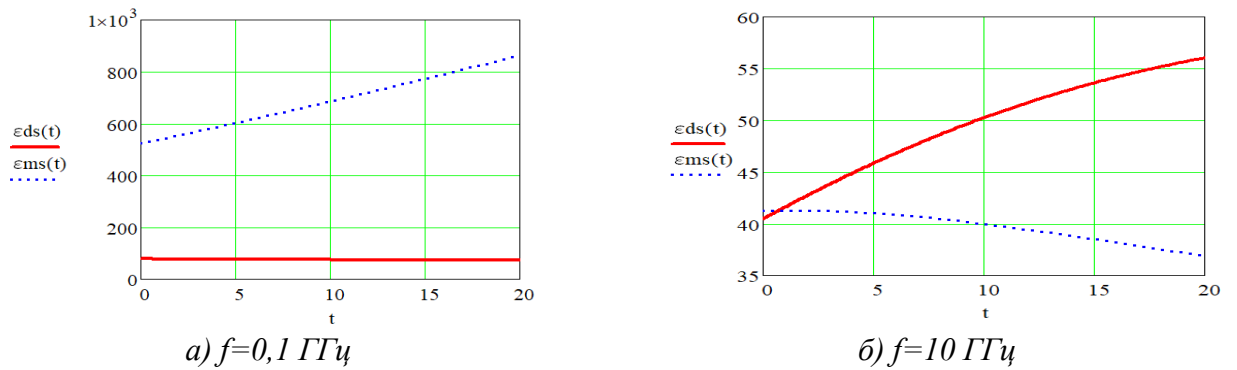


Рисунок 4 – Зависимость относительной комплексной диэлектрической проницаемости соленой воды в зависимости от температуры  $t$  °C

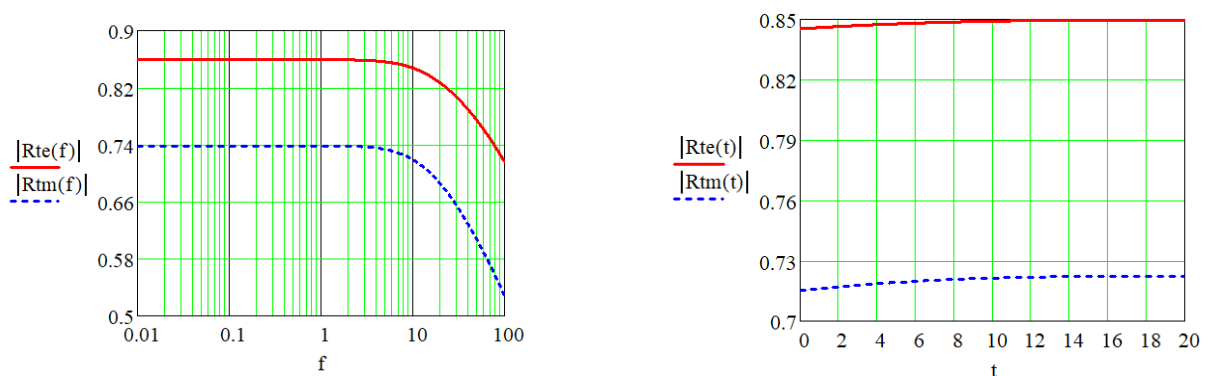
Анализ графиков показывает, что в пресной воде преобладает действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости, в то время как у соленой воды мнимая часть сопоставима с действительной. По мере увеличения солености, мнимая часть начинает преобладать, вода становится электролитом, то есть проводником. Вблизи частоты 10 ГГц значения действительной и мнимой частей практически равны.

При изменении температуры наблюдается изменение комплексной относительной диэлектрической проницаемости. На высоких частотах мнимая часть с увеличением температуры падает, действительная возрастает. На низких частотах наблюдается обратный эффект. Потери в воде с ростом температуры падают.

При расчете коэффициентов отражения, затухания и прохождения радиоволны вглубь среды рассматривалось падение для случая, когда средой, из которой падает волна, является воздух, а вторая среда является исследуемой. Ее толщину можно считать бесконечной, без включения неоднородностей. То есть повторного отражения в ней не будет. Графики для температурной зависимости приведены для частоты 10 ГГц, так как до нее вода незначительно изменяет свои свойства и результаты можно экстраполировать на меньшие частоты, например 2,4 или 5 ГГц. Расчет отражения радиоволн выполнялся по классическим формулам [1], рассмотрены случаи падения волны, когда вектор падающего электрического поля  $E_i$  перпендикулярен плоскости падения (на графиках обозначен как  $R_{te}$ ), и случай, когда вектор падающего электрического поля  $E_i$  параллелен плоскости падения (на графиках обозначен как  $R_{tm}$ ).

Затухание радиоволны ( $\alpha$ ) и ее прохождение вглубь среды ( $d$ , метров) рассчитано по формулам, приведенным в [1,3].

Результаты вычислений коэффициентов отражения и прохождения радиоволны для чистой воды при угле падения  $45^\circ$  в зависимости от частоты и температуры приведены на рисунке 6.



а) в зависимости от частоты (ГГц) при  $t = +20^\circ\text{C}$

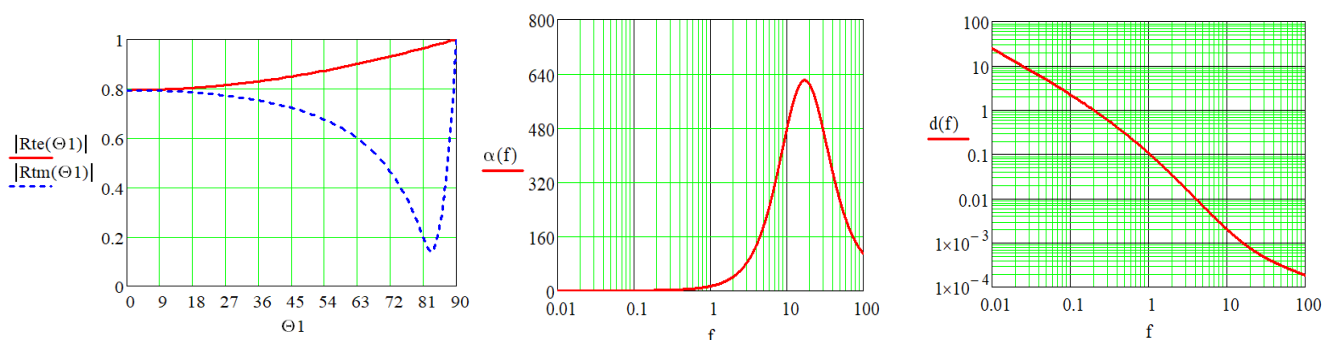
б) в зависимости от температуры ( $^\circ\text{C}$ ) при частоте 10 ГГц

Рисунок 6 – Коэффициент отражения радиоволны при угле падения  $45^\circ$  на границу раздела воздух-пресная вода

С ростом частоты проводимость среды падает, что вызывает уменьшение коэффициента отражения. До частоты примерно 7 ГГц коэффициент отражения составляет около 0,85 для волны перпендикулярной плоскости падения и 0,74 для волны, падающей параллельно. После 10 ГГц начинается спад, однако, даже на частоте 60 ГГц коэффициент отражения составляет 0,74 и 0,58 соответственно.

Чистая вода незначительно изменяет свои свойства в диапазоне температур от  $+1^\circ\text{C}$  до  $+20^\circ\text{C}$ , что наблюдается в постоянстве коэффициентов отражения и прохождения. Однако наблюдается тенденция увеличения коэффициента отражения с ростом температуры.

Результаты вычислений коэффициентов при падении радиоволны на границу раздела воздух-пресная вода при температуре  $+20^\circ\text{C}$  приведены на рисунке 7.



а) коэффициент отражения в зависимости от угла падения,  $f=10$  ГГц

б) коэффициент затухания радиоволны,  $\theta=45^\circ$

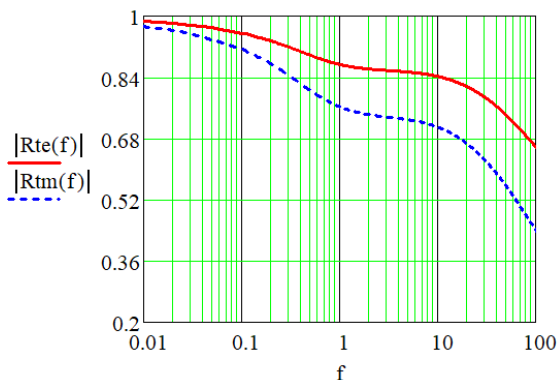
в) глубина прохождения радиоволны вглубь среды,  $\theta=45^\circ$ .

Рисунок 7 – Падение радиоволны на границу раздела воздух-пресная вода при температуре  $+20^\circ\text{C}$

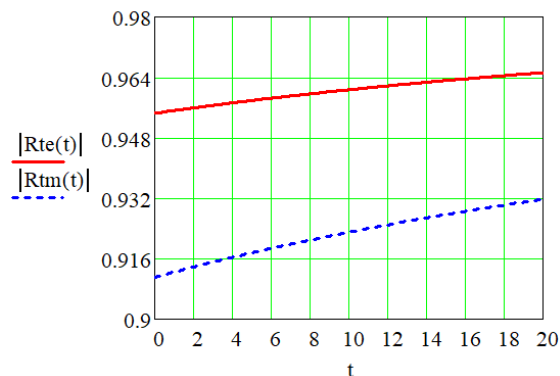
Угол Брюстера не изменяется в зависимости от частоты и температуры (дополнительные графики не приведены в силу их идентичности). Волна, лежащая в плоскости падения границы раздела сред, способна глубже проникнуть вглубь среды. Для случая перпендикулярной поляризации разница в углах  $0^\circ$ - $90^\circ$  для коэффициента отражения составляет 0,2. При угле  $90^\circ$  градусов вся энергия радиоволны отражается. При параллельной поляризации наименьший коэффициент отражения соответствует углу  $82^\circ$ .

Максимум затухания радиоволны наблюдается в диапазоне 11 ГГц, на частотах выше и ниже затухание становится меньше. Глубина проникновения, где поле уменьшается в  $e$  раз, резко убывает с ростом частоты: для 100 МГц глубина проникновения чуть более 20 метров; для 10 ГГц глубина проникновения меньше 2см.

Соленая вода обладает большей электропроводностью и меньшей диэлектрической проницаемостью. Результаты вычислений коэффициентов отражения радиоволны соленой воды для угла падения  $45^\circ$  приведены на рисунке 8.



а) в зависимости от частоты (ГГц) при  $t = +20^\circ\text{C}$

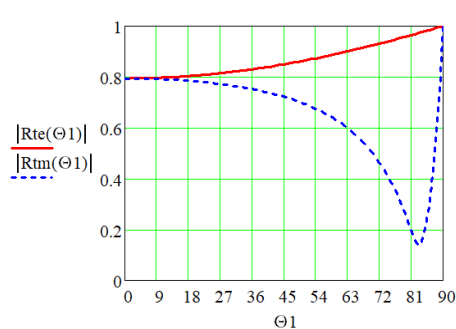


б) в зависимости от температуры ( $^\circ\text{C}$ ) при частоте 10 ГГц

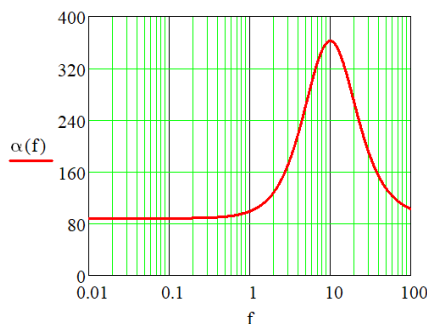
Рисунок 8 – Падение радиоволны на границу раздела воздух-соленая вода при температуре  $+20^\circ\text{C}$

На низких частотах практически вся энергия электромагнитной волны отражается от соленой воды, с ростом частоты коэффициент отражения падает и на частоте 60 ГГц составляет 0,68 и 0,52 для случаев перпендикулярного и параллельного падения электромагнитной волны.

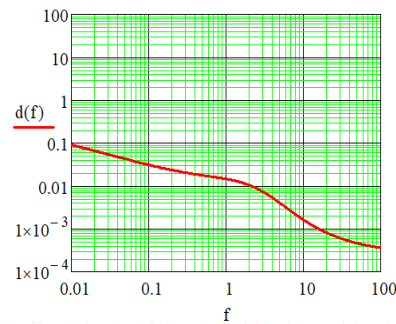
Результаты вычислений коэффициентов при падении радиоволны на границу раздела воздух-соленая вода при температуре  $+20^\circ\text{C}$  приведены на рисунке 9.



а) коэффициент отражения в зависимости от угла падения,  $f = 10 \text{ ГГц}$



б) коэффициент затухания радиоволны,  $\theta = 45^\circ$



в) глубина прохождения радиоволны вглубь среды,  $\theta = 45^\circ$ .

Рисунок 9 – Падение радиоволны на границу раздела воздух-пресная вода при температуре  $+20^\circ\text{C}$

Аналогично чистой воде, соленая вода незначительно изменяет свои свойства в диапазоне температур от  $+1^\circ\text{C}$  до  $+20^\circ\text{C}$ , что наблюдается в постоянстве коэффициента отражения.

Угол Брюстера не изменяется в зависимости от частоты и температуры (дополнительные графики не приведены в силу их идентичности). Волна, лежащая в плоскости падения границы раздела сред, способна глубже проникнуть вглубь среды. Для случая перпендикулярной поляризации разница в углах  $0^\circ$ - $90^\circ$  для коэффициента отражения составляет 0,2. При угле 90 градусов вся энергия радиоволны отражается.

Максимум затухания радиоволны наблюдается в диапазоне 10 ГГц (чуть ниже по частоте, чем у чистой воды), на частотах выше и ниже затухание становится меньше, однако оно не опускается ниже 19 дБ по сравнению со свободным пространством во всем частотном диапазоне. Глубина проникновения, где поле уменьшается в  $e$  раз, на частоте 100 МГц составляет всего 3 см и с ростом частоты убывает.

Таким образом, чистая и соленая вода являются средами, оказывающими разное влияние на распространение радиоволн. И эта разница по мере увеличения солености воды только возрастает.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рекомендация МСЭ-R P.527-4 (06/2017) Электрические характеристики земной поверхности  
Серия Р Распространение радиоволн/ Международный союз электросвязи МСЭ-R.
2. Красюк, Николай Петрович. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу  
РЛС / Н. П. Красюк, В. Л. Коблов, В. Н. Красюк. - М. : Радио и связь, 1988. – 213с
3. Радиолокация слоистых земных покровов / М.И. Финкельштейн [и др.]; под общ. ред. М.И.  
Финкельштейна. – Москва: Сов. радио, 1977. – 174 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ РАДИОВОЛН ОТ ПОВЕРХНОСТИ ЛЬДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, отражение радиоволн, свойства льда.

В статье рассмотрена зависимость коэффициентов отражения и затухания радиоволн на границе раздела сред воздух – лед при различных частотах и углах падения. Комплексная диэлектрическая проницаемость льда получена аналитическим методом, который учитывает температуру среды и частоту радиоволн, воздействующих на нее.

D.A. Ovchinnikov, S.A. Baranov, S.U. Krasnykh

## RESEARCH OF THE DEPENDENCE OF THE RADIO WAVES REFLECTION FROM THE ICE SURFACE DEPENDING ON ITS TEMPERATURE

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Key words: material permittivity, reflection of radio waves, ice properties.

The article considers the dependence of the coefficients of reflection and attenuation of radio waves at the interface between air and ice at different frequencies and angles of incidence. The complex permittivity of ice was obtained by an analytical method that takes into account the temperature of the medium and the frequency of radio waves acting on it.

Вопросы рефракции радиоволн играют важную роль. У реальных сред наряду с диэлектрической проницаемостью также присутствует проводимость, что приводит к комплексному виду относительной диэлектрической проницаемости:

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

где  $\varepsilon'$  – действительная часть (далее на графиках обозначена как  $\varepsilon d$ );  
 $\varepsilon''$  – мнимая часть (далее на графиках обозначена как  $\varepsilon m$ ).

Действительная часть характеризует ток проводимости, то есть диэлектрические или проводящие свойства среды; мнимая часть характеризует ток утечки, то есть потери.

Процессы отражения от идеальных диэлектриков исследованы давно и достаточно подробно. В работе приводятся обобщенные результаты по отражению плоской волны от поверхности среды с потерями, а именно льда с учетом изменения его температуры.

Так как статья преследует цель лишь показать динамику воздействия льда на распространение радиоволн, то его свойства должны носить обобщенный характер, то есть описывать большинство ситуаций, без учета индивидуальных особенностей, например, разницу между кристаллическим, шуговым льдами или льдом, в составе которого присутствуют пузыри воздуха и иные вкрапления.

В соответствие с этой целью, использовалась методика расчета комплексной относительной диэлектрической проницаемости льда, приведенная в рекомендациях МСЭ-R P.527-4 «Электрические характеристики земной поверхности» [1]. Однако, эти результаты сопоставимы с экспериментально полученными значениями в [2].

При отрицательных температурах вода замерзает и образует лед. Его структура отлична от воды, а значит и диэлектрические свойства у него иные. Различают два вида льда: сухой лед – когда температура ниже нуля и влажный лед, когда держится около нулевой температура, то есть присутствует замерзшая и жидкая вода.

Оценка температурной зависимости выполнена в диапазоне от нуля  $^{\circ}\text{C}$  до минус  $20^{\circ}\text{C}$ ; частотный диапазон охватывает почти весь спектр радиоволн и находится в диапазоне от 10 МГц до 100 ГГц.

На рис. 1 приведены графики зависимости комплексной относительной диэлектрической проницаемости влажного (объемная доля воды 50%) и сухого льда в зависимости от частоты при температурах  $0^{\circ}\text{C}$  и  $-20^{\circ}\text{C}$ .

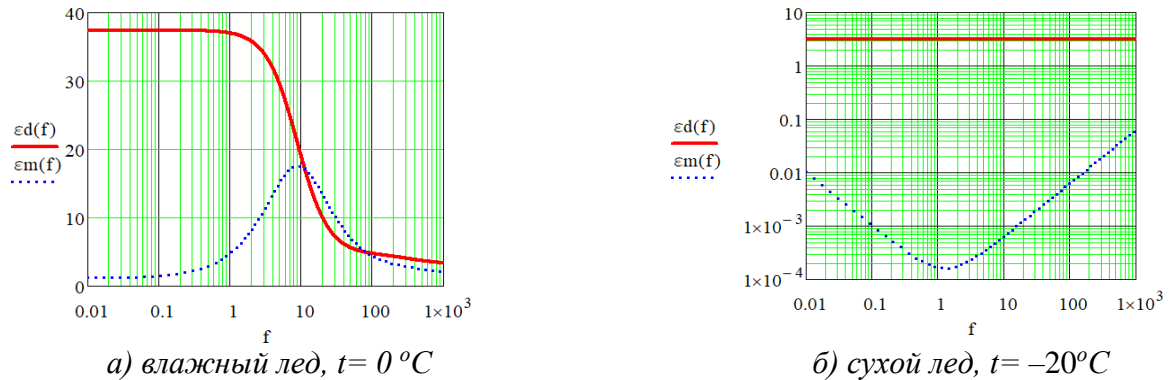


Рис. 1 – Зависимость относительной комплексной диэлектрической проницаемости влажного и сухого льда в зависимости от частоты (ГГц)

На рис. 2 и 3 приведены графики зависимости комплексной относительной диэлектрической проницаемости влажного льда в зависимости от объемной доли воды в жидкой фазе  $F_{wc}$ , и сухого льда в зависимости от температуры при частотах 0,1 ГГц и 10 ГГц. Частоты соответствуют крайним диапазонам наиболее используемого спектра частот. Температура лежит в пределах от минус 1 до минус 20 градусов Цельсия, что примерно соответствует годовым изменениям.

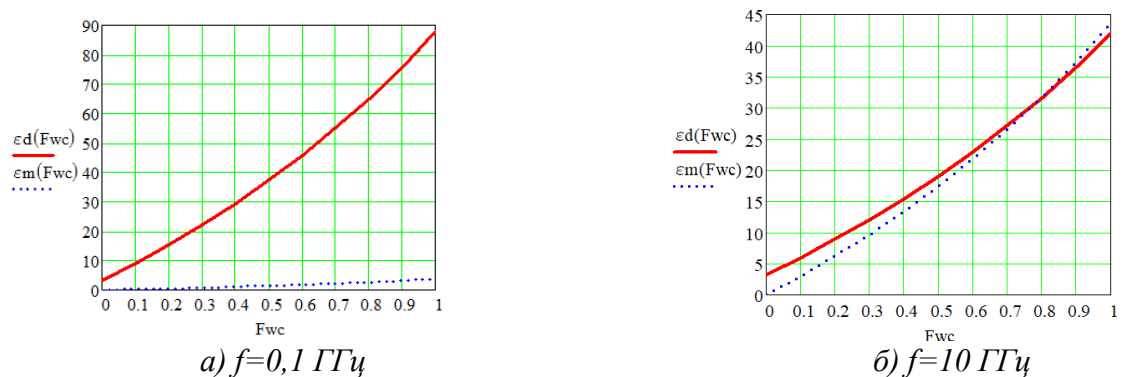


Рис. 2 – Зависимость относительной комплексной диэлектрической проницаемости влажного льда в зависимости от объемной доли воды в жидкой фазе  $F_{wc}$

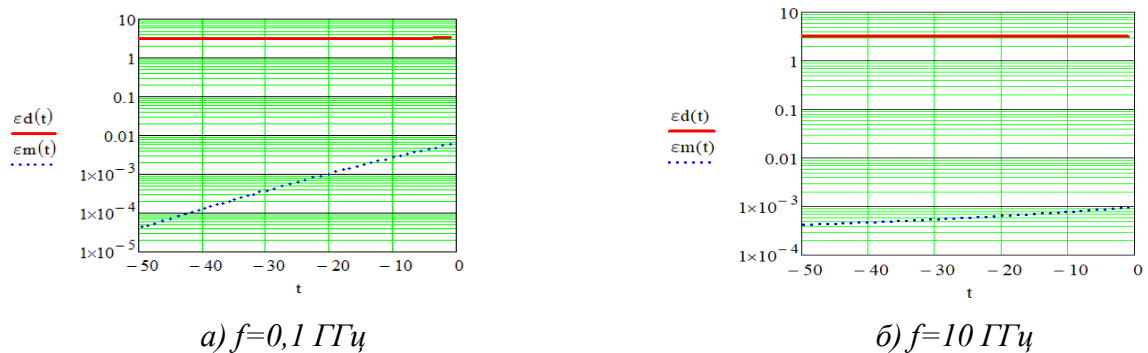


Рис. 3 – Зависимость относительной комплексной диэлектрической проницаемости льда от температуры  $t$  °С

Из полученных графиков видно, что параметры сухого льда не зависят от его температуры. Комплексная относительная диэлектрическая проницаемость неизменна во всем диапазоне частот.

Комплексная относительная диэлектрическая проницаемость влажного льда является частотно зависимой. Из рис. 2 видно, что с увеличением объемного содержания воды, параметры льда приближаются к свойствам чистой воды – увеличивается значение комплексной диэлектрической проницаемости.

При расчете коэффициентов отражения, затухания и прохождения радиоволны вглубь среды рассматривалось падение для случая, когда средой, из которой падает волна, является воздух, а вторая среда является исследуемой. Ее толщину можно считать бесконечной, без включения неоднородностей. То есть повторного отражения в ней не будет. Графики для температурной зависимости приведены для частоты 2 ГГц, так как до нее лед незначительно изменяет свои свойства и результаты можно экстраполировать на меньшие частоты. Расчет отражения радиоволн выполнялся по классическим формулам [1], рассмотрены случаи падения волны, когда вектор падающего электрического поля  $E_i$  перпендикулярен плоскости падения (на графиках обозначен как  $R_{te}$ ), и случай, когда вектор падающего электрического поля  $E_i$  параллелен плоскости падения (на графиках обозначен как  $R_{tm}$ ).

Затухание радиоволны ( $\alpha$ ) и ее прохождение вглубь среды ( $d$ , метров) рассчитано по формулам, приведенным в [1,3].

Результаты вычислений коэффициентов отражения радиоволны для влажного (50% воды) и сухого льда при угле падения  $45^\circ$  в зависимости от частоты и температуры приведены на рис. 6.

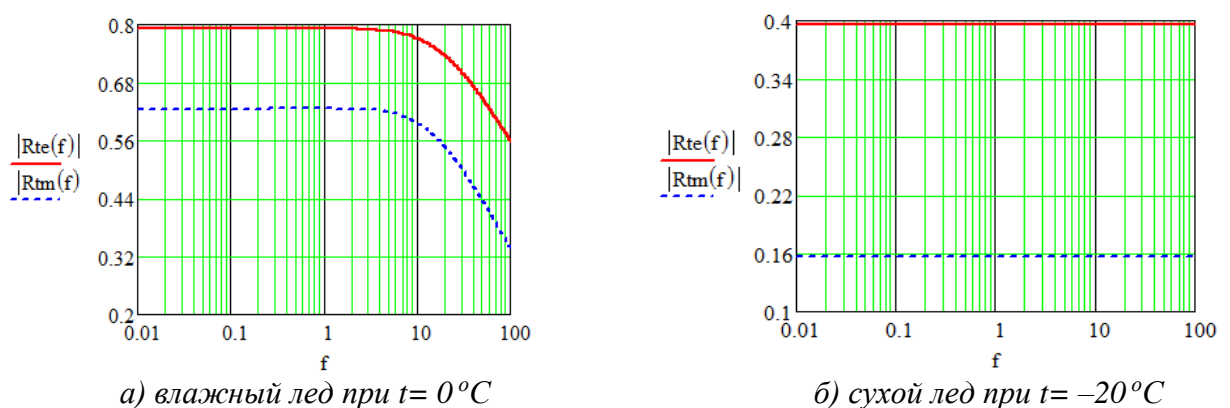


Рис. 6 – Коэффициент отражения радиоволны при угле падения  $45^\circ$  на границу раздела воздух-лед в зависимости от частоты (ГГц)

Для влажного льда с ростом частоты проводимость среды падает, что вызывает уменьшение коэффициента отражения. До частоты примерно 10 ГГц коэффициент отражения составляет около 0,75 для волны перпендикулярной плоскости падения и 0,62 для волны,



падающей параллельно. После 10 ГГц начинается спад, однако, даже на частоте 60 ГГц коэффициент отражения составляет 0,6 и 0,4 соответственно.

Сухой лед не подвержен изменению комплексной относительной диэлектрической проницаемости ни от частоты радиоволн, ни от температуры, поэтому коэффициенты отражения и прохождения во всем частотном диапазоне являются константами: коэффициент отражения 0,4 и 0,16 для перпендикулярной и параллельной поляризации падающей волны.

Сухой лед близок по своим параметрам к идеальному диэлектрику. При угле падения около 60 градусов коэффициент отражения равен нулю, то есть вся энергия электромагнитной волны проходит вглубь среды.

Результаты вычислений коэффициентов отражения, затухания и прохождения вглубь среды при падении радиоволны на границу раздела воздух-влажный лед при температуре 0°C приведены на рис.7.

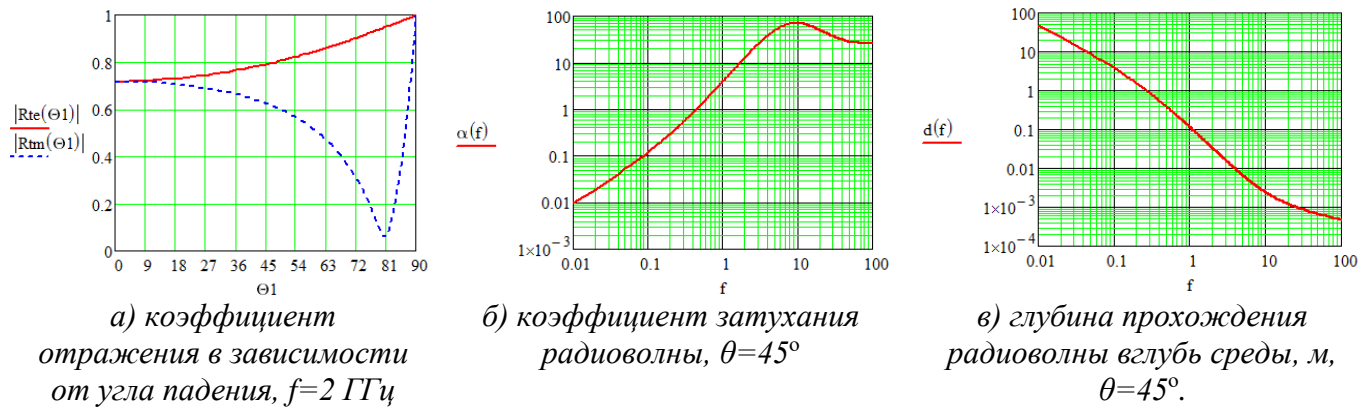


Рис. 7 – Падение радиоволны на границу раздела воздух-влажный лед при температуре 0°C

На частоте 2 ГГц угол Брюстера близок к 80 градусам, то есть почти к нормальному падению радиоволны, вектор электрической напряженности которой лежит в плоскости падения. Для случая перпендикулярной поляризации коэффициент отражения растет с 0,7 до 1 при увеличении угла падения. С ростом частоты угол Брюстера изменяется не значительно, например, на частоте 10 ГГц он смещается вниз до 78 градусов. В общем случае можно считать его почти неизменным.

До частоты 1 ГГц коэффициент затухания плавно возрастает, но не превышает 3, на частоте 10 ГГц наблюдается максимум коэффициента затухания в 90 раз, который с ростом частоты падает до 30.

Максимальная глубина проникновения радиоволны, где амплитуда поля падает в 2.71 на низких частотах составляет порядка 40 метров и с увеличением частоты резко падает. Так на частоте 1 ГГц она не превышает 10 см, а на частоте 10 ГГц около 1 мм.

Результаты вычислений коэффициентов отражения, затухания и прохождения вглубь среды при падении радиоволны на границу раздела воздух-сухой лед при температуре минус 20°C приведены на рис.8.

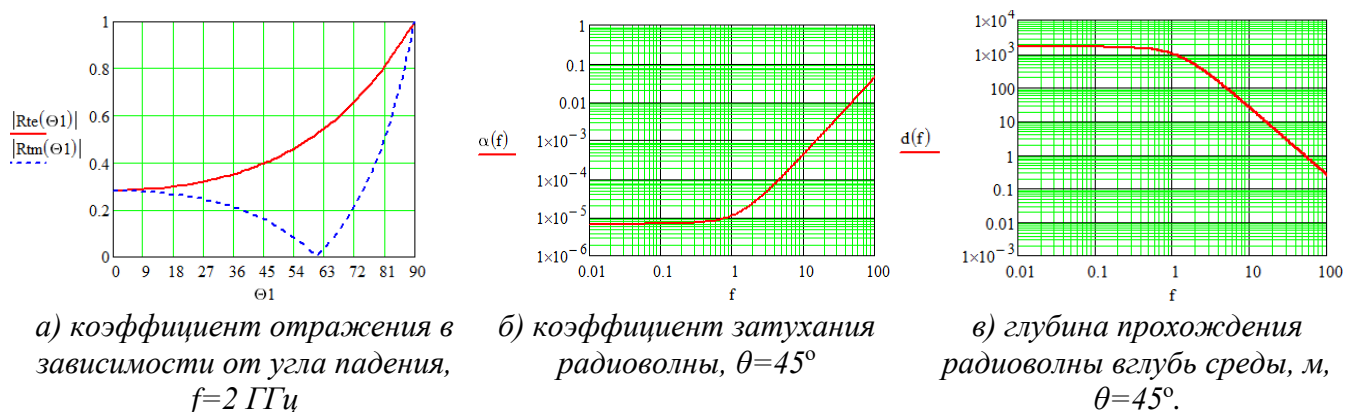


Рис. 8 – Падение радиоволны на границу раздела воздух-лед при температуре минус 20°C

На частоте 2 ГГц угол Брюстера близок к 60 градусам, наблюдается только для радиоволны вектор электрической напряженности которой лежит в плоскости падения. Для случая перпендикулярной поляризации коэффициент отражения растет с 0,3 до 1 при увеличении угла падения. Угол Брюстера во всем частотном диапазоне остается неизменным. Так как лед является практически идеальной средой без потерь, то при угле Брюстера наблюдается полное отсутствие отраженной волны.

До частоты 1 ГГц волна не затухает во льду, но и на частотах до 100 ГГц затухание не превышает 0,1 раза.

Глубина проникновения радиоволны вглубь среды, когда величина напряженности падает в 2,71 раза на частотах до 1 ГГц составляет более 1000м, затем начинается спад, так на частоте 10 ГГц глубина составляет 20 метров, а на частоте 100 ГГц порядка 30 см.

Анализ графиков показывает:

- замороженная вода (лед) сохраняет постоянство своих характеристик и почти не влияет на распространение радиоволн. Лед оказывает малое затухание при распространении радиосигнала и имеет невысокий коэффициент отражения;

- электромагнитная волна, перпендикулярно поляризованная плоскости падения, отражается значительно лучше (примерно в 1,3-1,5 раз) чем волна, лежащая параллельно плоскости падения;

- влажный лед по своим свойствам напоминает чистую воду.

Сухой лед является почти идеальной средой. Он не имеет частотной и температурной зависимостей, его коэффициент отражения является константой и составляет 0,396 для перпендикулярно поляризованной волны и 0,157 для параллельно поляризованной волны. Электромагнитная волна легко проникает в глубь среды, почти не испытывает затухания. На частоте 0,1 ГГц глубина скин слоя более 1600 метров, на частоте 60 ГГц почти 0,8 метра.

Влажный лед является сложной средой. Он состоит из сухого льда и жидкости, поэтому его свойства определяются свойствами двух сред и их вяление зависит от их соотношения, то есть от доли незамерзшей воды. Рассмотрен случай, когда половина льда находится в замерзшем состоянии, а половина в жидкой фазе, то есть доля воды в жидкой фазе составляет 0,5. В случае пресной воды эта температуры находится около нуля. Ярко выраженной частотной зависимости коэффициента отражения на частотах 0,1 ГГц- 10 ГГц не наблюдается, изменение составляет 0,012. При увеличении частоты до 60 ГГц разница становится больше, коэффициент отражения составляет 0,806 и 0,219, в то время как на частоте 1 ГГц он составляет 0,898 и 0,337 для перпендикулярной и параллельной поляризации. Электромагнитная волна испытывает значительные затухания при распространении вглубь среды и может хоть как-то проникать только на низких частотах. На частоте 0,1 ГГц глубина проникновения 3,9 метра, на частоте 1 ГГц – 12 см и затем резко падает.

Таким образом сухой и влажный лед две абсолютно разные среды. Сухой лед представляет собой почти идеальный диэлектрик без потерь. В свою очередь, по мере увеличения влажности льда его свойства приближаются к свойствам чистой воды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1.Рекомендация МСЭ-R P.527-4 (06/2017) Электрические характеристики земной поверхности Серия P Распространение радиоволн/ Международный союз электросвязи МСЭ-R.
2. Красюк, Николай Петрович. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС / Н. П. Красюк, В. Л. Коблов, В. Н. Красюк. - М. : Радио и связь, 1988. – 213с
3. Радиолокация слоистых земных покровов / М.И. Финкельштейн [и др.]; под общ. ред. М.И. Финкельштейна. – Москва: Сов. радио, 1977. – 174 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ РАДИОВОЛН ОТ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ И ЕЕ СОСТАВА

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, отражение радиоволн, свойства почвы.

В статье рассмотрена зависимость коэффициентов отражения и затухания радиоволн на границе раздела сред воздух – почва при различных частотах и углах падения. Комплексная диэлектрическая проницаемость почвы получена аналитическим методом, который учитывает температуру среды и частоту радиоволн, воздействующих на нее.

D.A. Ovchinnikov, S.A. Baranov, S.U. Krasnykh

## RESEARCH OF THE DEPENDENCE OF THE COEFFICIENT OF RADIO WAVES REFLECTION FROM THE SOIL SURFACE DEPENDING ON HUMIDITY AND ITS COMPOSITION

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Keywords: permittivity, radio wave reflection, soil properties.

The article considers the dependence of the coefficients of reflection and attenuation of radio waves at the interface between air and soil at different frequencies and angles of incidence. The complex permittivity of the soil was obtained by an analytical method that takes into account the temperature of the medium and the frequency of radio waves acting on it.

Вопросы рефракции радиоволн играют важную роль. У реальных сред наряду с диэлектрической проницаемостью также присутствует проводимость, что приводит к комплексному виду относительной диэлектрической проницаемости:

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

где  $\varepsilon'$  – действительная часть (далее на графиках обозначена как  $\varepsilon d$ );  
 $\varepsilon''$  – мнимая часть (далее на графиках обозначена как  $\varepsilon m$ ).

Действительная часть характеризует ток проводимости, то есть диэлектрические или проводящие свойства среды; мнимая часть характеризует ток утечки, то есть потери.

Процессы отражения от идеальных диэлектриков исследованы давно и достаточно подробно. В работе приводятся обобщенные результаты по отражению плоской волны от поверхности среды с потерями, а именно льда с учетом изменения его температуры.

Так как статья преследует цель лишь показать динамику воздействия почвы на распространение радиоволн, то ее свойства должны носить обобщенный характер, то есть описывать большинство ситуаций, без учета индивидуальных особенностей, например, разницу между глиной, суглинком, песчаной почвой и илом.

В соответствие с этой целью, использовалась методика расчета комплексной относительной диэлектрической проницаемости льда, приведенная в рекомендациях МСЭ-R P.527-4 «Электрические характеристики земной поверхности» [1]. Однако, эти результаты сопоставимы с экспериментально полученными значениями в [2].

Существенную часть покрова земной поверхности составляет почва. Почва характеризуется сложным составом, который меняется послойно от глубины залегания и сильно зависит от региона. Для описания почв используется треугольник почвы, который также известен как треугольник Ферре. Треугольник классифицирует процентное содержание основных составляющих почвы к конкретному типу. По треугольнику структуры почвы можно составить ряд типовых горизонтов (таблица 1) [4,5]

Таблица 1 – Физические параметры почвы разного типа

Структурный класс почвы	Песок	Суглинок	Ил	Глина
Песок, %	90	45	5	5
Глина, %	5	10	5	90
Ил, %	5	45	90	5

Помимо примесного состава основных составляющих грунта, он еще может быть насыщен влагой, количество которой будет существенно изменять свойства конечного продукта том числе и от температуры.

Оценка температурной зависимости выполнена в диапазоне от нуля °C до плюс 20 °C; частотный диапазон охватывает почти весь спектр радиоволн и находится в диапазоне от 10 МГц до 100 ГГц.

На рис. 1 приведены графики зависимости комплексной относительной диэлектрической проницаемости почвы при объемном содержании воды 50% в зависимости от частоты при температурах плюс 20 °C.

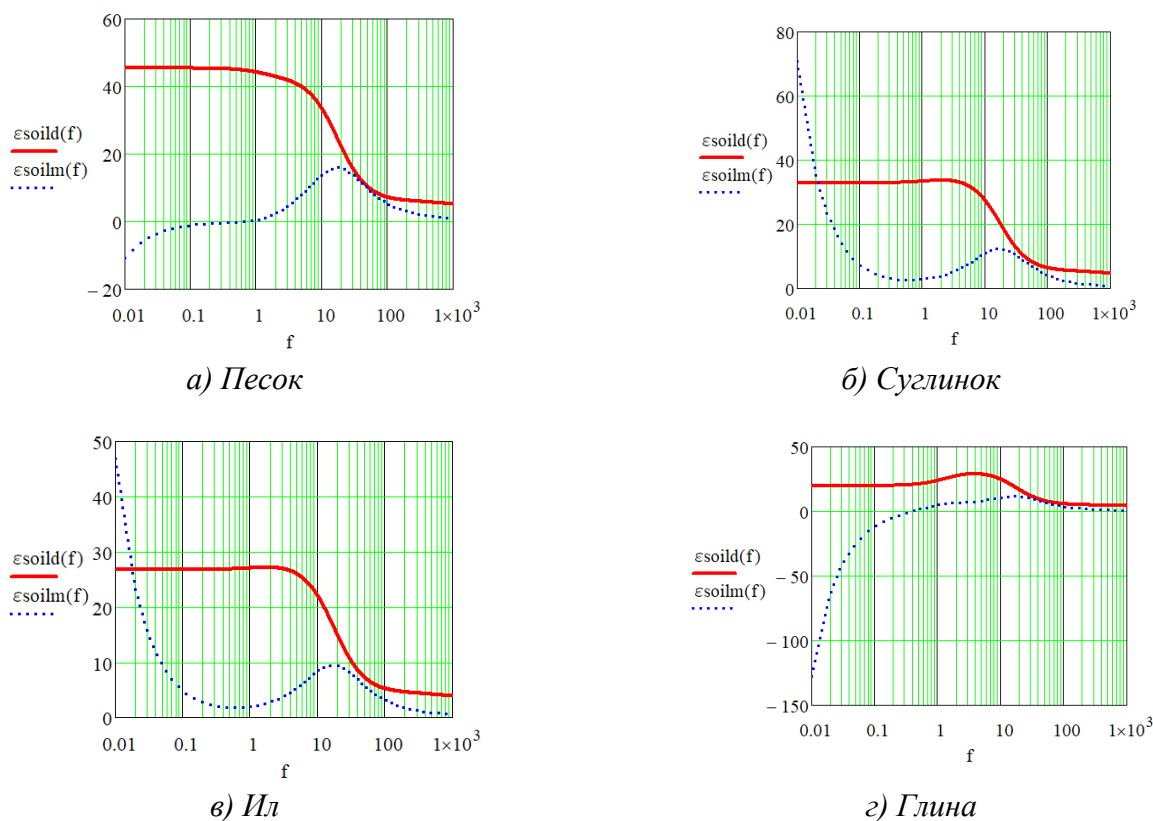


Рис. 1 – Зависимость относительной комплексной диэлектрической проницаемости почвы в зависимости от частоты (ГГц) при  $t = +20^{\circ}\text{C}$

На рис. 2 приведена зависимость относительной комплексной диэлектрической проницаемости почвы в зависимости от температуры при частоте  $f=10\text{ГГц}$ . В рамках данной статьи рассматриваются только изменения комплексной относительной диэлектрической

проницаемости почвы при температурах выше точки замерзания воды, в том числе по причине того, что лед слабо изменяет свои свойства в широком диапазоне частот и температур.

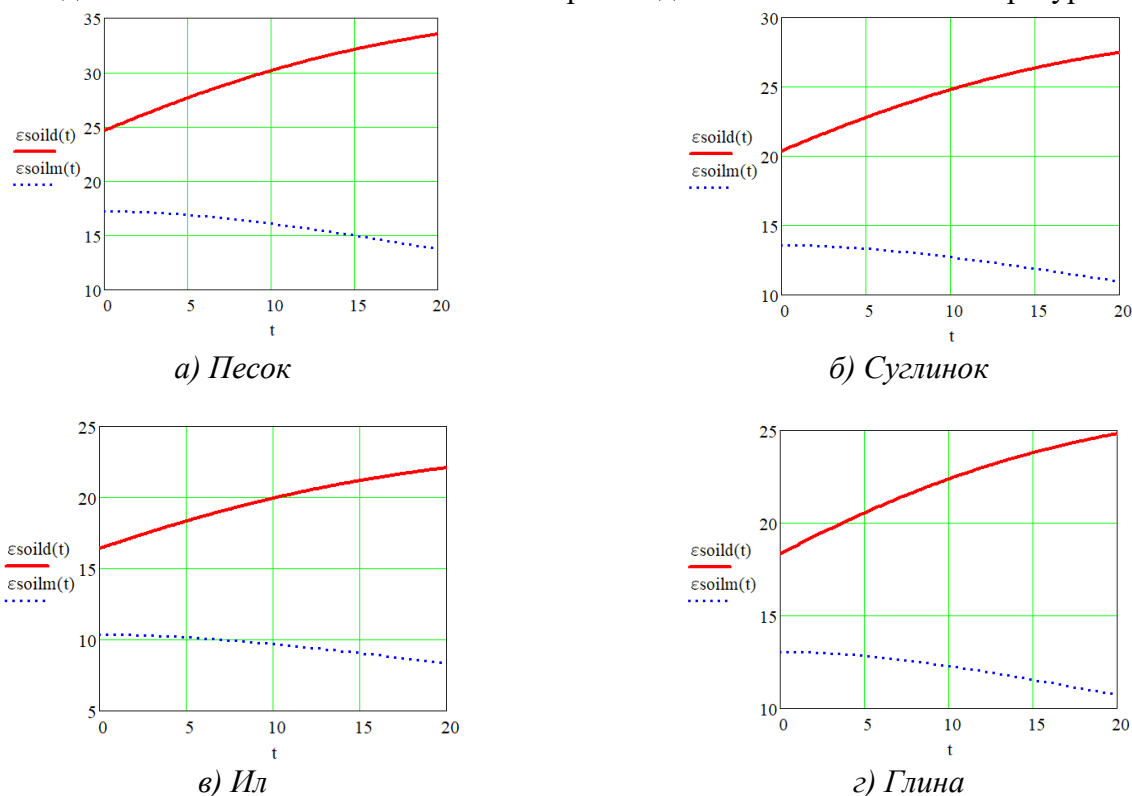


Рис. 2 – Зависимость относительной комплексной диэлектрической проницаемости почвы в зависимости от температуры при частоте  $f=10\Gamma\text{ц}$

При увеличении температуры все виды почв ведут себя одинаково – действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости возрастает, мнимая часть убывает, точно так же, как ведет себя чистая вода. На частотах до 2 ГГц действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости практически не изменяется, затем она начинает падать по экспоненциальному закону. Мнимая часть, наоборот, изменяется наиболее сильно на низких частотах, на высокой частоте ее значения изменяются слабо. Что вновь характерно для свойств чистой воды. С увеличением частоты увеличивается плотность токов проводимости и у грунта появляется электропроводность.

Таким образом, качественное изменение комплексной диэлектрической проницаемости в зависимости от частоты радиоволн в большей степени зависит от количественного содержания воды: чем больше влажность грунта, тем сильнее выражены нелинейные свойства в частотном диапазоне.

При расчете коэффициентов отражения, затухания и прохождения радиоволны вглубь среды рассматривалось падение для случая, когда средой, из которой падает волна, является воздух, а вторая среда является исследуемой. Ее толщину можно считать бесконечной, без включения неоднородностей. То есть повторного отражения в ней не будет. Графики для температурной зависимости приведены для частоты 2 ГГц, так как до нее лед незначительно изменяет свои свойства и результаты можно экстраполировать на меньшие частоты. Расчет отражения радиоволн выполнялся по классическим формулам [1], рассмотрены случаи падения волны, когда вектор падающего электрического поля  $E_i$  перпендикулярен плоскости падения (на графиках обозначен как  $R_{te}$ ), и случай, когда вектор падающего электрического поля  $E_i$  параллелен плоскости падения (на графиках обозначен как  $R_{tm}$ ).

Затухание радиоволны ( $\alpha$ ) и ее прохождение вглубь среды ( $d$ , метров) рассчитано по формулам, приведенным в [1,3].

Результаты вычислений коэффициентов отражения радиоволны для влажных грунтов (50% воды) при угле падения  $45^\circ$  в зависимости от частоты при температуре  $t = +20^\circ\text{C}$  приведены на рис. 3.

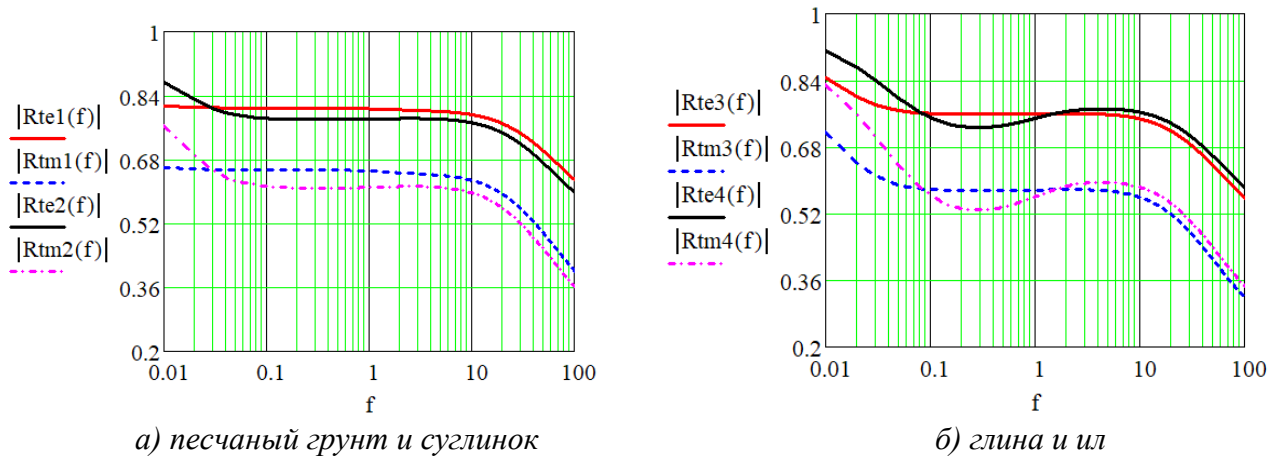


Рис. 3 – Коэффициенты отражения радиоволн для песчаного грунта ( $R_{te1}$ ,  $R_{tm1}$ ,  $T_{te1}$ ,  $T_{tm1}$ ); суглинка ( $R_{te2}$ ,  $R_{tm2}$ ,  $T_{te2}$ ,  $T_{tm2}$ ); глины ( $R_{te3}$ ,  $R_{tm3}$ ,  $T_{te3}$ ,  $T_{tm3}$ ) и ила ( $R_{te4}$ ,  $R_{tm4}$ ,  $T_{te4}$ ,  $T_{tm4}$ ) при угле падения  $45^\circ$ , объемной доле воды 0,5 и температуре  $20^\circ\text{C}$  в зависимости от частоты

Все четыре типа почв сохраняют практически постоянным коэффициент отражения в диапазоне частот 0,1 ГГц-10 ГГц, после 10 ГГц коэффициент отражения падает. Лучше всего радиоволны отражаются от песчаного грунта, хуже всего от ила хотя абсолютная разница между ними не превышает 0,1.

Результаты вычислений коэффициентов отражения радиоволны для грунтов при угле падения  $45^\circ$  и частоте 10 ГГц в зависимости от температуры приведены на рис. 4.

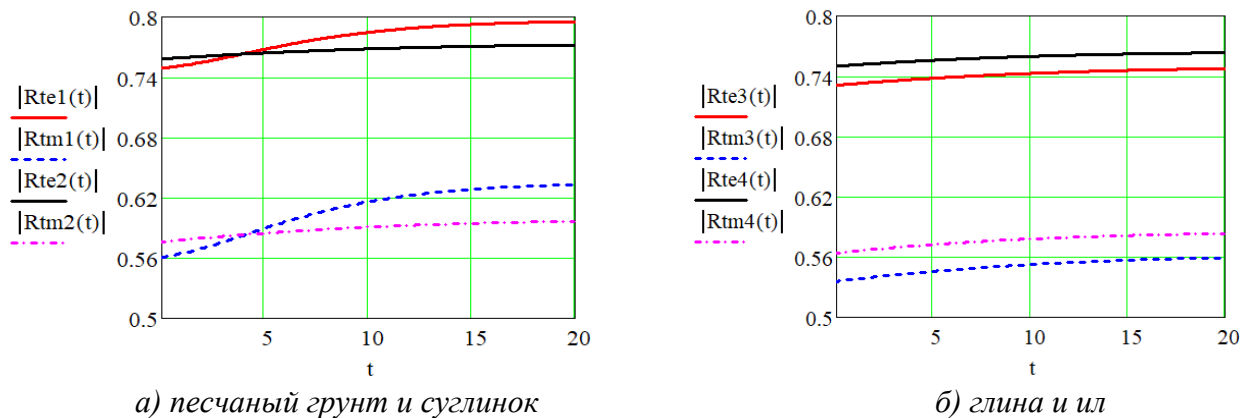


Рис. 3 – Коэффициенты отражения радиоволн для песчаного грунта ( $R_{te1}$ ,  $R_{tm1}$ ,  $T_{te1}$ ,  $T_{tm1}$ ); суглинка ( $R_{te2}$ ,  $R_{tm2}$ ,  $T_{te2}$ ,  $T_{tm2}$ ); глины ( $R_{te3}$ ,  $R_{tm3}$ ,  $T_{te3}$ ,  $T_{tm3}$ ) и ила ( $R_{te4}$ ,  $R_{tm4}$ ,  $T_{te4}$ ,  $T_{tm4}$ ) при угле падения  $45^\circ$ , объемной доле воды 0,5 и частоте 10 ГГц в зависимости от температуры

Коэффициент отражения при изменении температуры на  $20^\circ\text{C}$  изменяется не более чем на 0,05. Можно констатировать, что грунт не подвержен влиянию температуры внешней среды. Вероятно, небольшой отклик на температуру вызван наличием влаги. Можно предположить, что если почву заморозить, то ее свойства будут определяться уже параметрами сухого льда, который обладает постоянством характеристик. То есть изменения коэффициента отражения не будет вовсе. Лучше всего сигнал отражается при температуре  $20^\circ\text{C}$ , хуже всего при  $1^\circ\text{C}$ .

Результаты вычислений коэффициентов отражения для почв при температуре 20 °С, объемной доле воды 0,5 и частоте 10 ГГц в зависимости от угла падения приведены на рис. 4.

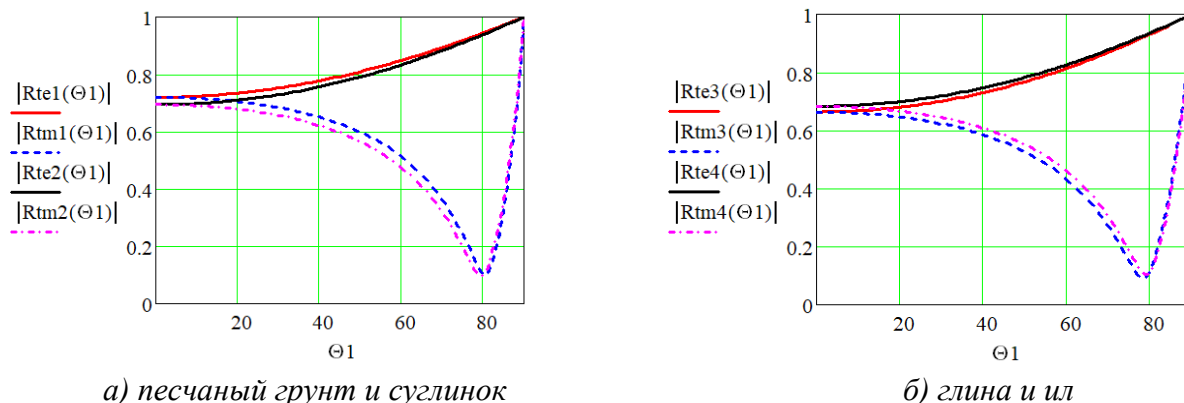


Рис.4 –Коэффициенты отражения радиоволн для песчаного грунта ( $R_{te1}$ ,  $R_{tm1}$ ,  $T_{te1}$ ,  $T_{tm1}$ ); суглинка ( $R_{te2}$ ,  $R_{tm2}$ ,  $T_{te2}$ ,  $T_{tm2}$ ); глины ( $R_{te3}$ ,  $R_{tm3}$ ,  $T_{te3}$ ,  $T_{tm3}$ ) и ила ( $R_{te4}$ ,  $R_{tm4}$ ,  $T_{te4}$ ,  $T_{tm4}$ ) при угле падения 45°, объемной доле воды 0,5 и частоте 10 ГГц в зависимости от температуры

Угол Брюстера близок к 80 градусам, то есть почти к нормальному падению радиоволны, вектор электрической напряженности которой лежит в плоскости падения. Для случая перпендикулярной поляризации коэффициент отражения растет с 0,68 до 1 при увеличении угла падения. Все почвы ведут себя похожим образом.

Характеристики грунтов в значительной степени зависят от влагонасыщенности. В данном случае для всех типов почв рассмотрен случай, когда влажность почвы составляет 50 %. Грунты обладают хорошими отражательными способностями. Лучше всего радиоволны отражаются от песчаных грунтов (коэффициент отражения 0,815 для частоты 0,1 ГГц и температуры 1 °С), затем суглинок (коэффициент отражения 0,790 для частоты 0,1 ГГц и температуры 1 °С), ил (коэффициент отражения 0,777 для частоты 0,1 ГГц и температуры 1 °С) и глина (коэффициент отражения 0,758 для частоты 0,1 ГГц и температуры 1 °С). С ростом температуры коэффициент отражения для всех типов почв в диапазоне частот 0,1 ГГц-10 ГГц уменьшается на 0,02, на частоте 60 ГГц он снижается дополнительно более чем на 0,1. То есть в диапазоне частот 0,1 ГГц-60 ГГц коэффициент отражения изменяется почти на 0,15, что является существенным.

Графики для затухания и глубины проникновения радиоволн вглубь материала в статье не приведены, но такой анализ был выполнен. Затухание радиоволн в грунтах неодинаковое. Меньше электромагнитная волна затухает в песчаном грунте, где на частоте 0,1 ГГц глубина скин слоя составляет 7 метров, но на частоте более 2 ГГц скин слой падает до 5 см и далее волна не распространяется. В глине на частоте 0,1 ГГц глубина скин слоя составляет 40 см, но на частоте более 1 ГГц скин слой составляет менее 8 см и резко уменьшается. Суглинок, располагается между ними и его скин слой составляет 0,7 метра и 4 см на частотах 0,1 ГГц и 2 ГГц соответственно. Ил на частотах выше 1 ГГц обладает большим затуханием для радиоволн, и они в нем не распространяются. На частоте 0,1 ГГц глубина скин слоя менее 40 см.

Таким образом, комплексная диэлектрическая проницаемость грунтов имеет сложную зависимость от частоты и температуры, как следствие электромагнитная волна радиодиапазона испытывает различные коэффициенты преломления, отражения и затухания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1.Рекомендация МСЭ-R P.527-4 (06/2017) Электрические характеристики земной поверхности Серия Р Распространение радиоволн/ Международный союз электросвязи МСЭ-R.
2. Красюк, Николай Петрович. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС / Н. П. Красюк, В. Л. Коблов, В. Н. Красюк. - М. : Радио и связь, 1988. – 213с

3. Радиолокация слоистых земных покровов / М.И. Финкельштейн [и др.]; под общ. ред. М.И. Финкельштейна. – Москва: Сов. радио, 1977. – 174 с.
4. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. — Москва: Изд-во АН СССР, 1958г 191с.
5. ГОСТ 12536-79 Методы определения гранулометрического состава грунтов.



## **АНАЛИЗ ТРАФИКА УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ПРИМЕРЕ МОДУЛЯ ESP32 CAM**

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: трафик, коэффициента Херста, ESP32 CAM, Raspberry PI, самоподобие, пакет, модель трафика.

В статье приведен анализ трафика модуля Wi-Fi камеры ESP32 CAM используемой для работы нейросети. Приведены данные захвата трафика на протяжении часа, проанализированы следующие параметры трафика: задержки передачи пакетов, статистика размера пакета данных по протоколам, приведены выводы о наиболее подходящих моделях трафика, для описания устройств подобного вида.

**Plekhanov S.M., Budyldina N.V.**

## **TRAFFIC ANALYSIS OF THE INTERNET OF THINGS ON THE EXAMPLE OF THE ESP32 CAM MODULE**

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FSBEI HE "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Keywords: traffic, Hurst coefficient, ESP32 CAM, Raspberry PI, self-similarity, packet, traffic model.

The article analyzes the traffic of the Wi-Fi module of the ESP32 CAM camera used for the operation of the neural network. The traffic capture data for an hour is given, the following traffic parameters are analyzed: packet transmission delays, data packet size statistics by protocols, conclusions are given about the most appropriate traffic models to describe devices of this type.

В данной работе будут рассмотрены особенности трафика модуля Wi-Fi-камеры ESP32 CAM, также предполагается обработка трафика камеры на модуле Raspberry PI, с помощью нейросети настроенной на отображение пульса и распознавание лица человека сидящего перед ней.

Для анализа проходящего трафика используется ПО WireShark, данное ПО работает непосредственно на одноплатном компьютере Raspberry PI.

Архитектура построенной сети архитектура анализируемой сети показана на рисунке 1.

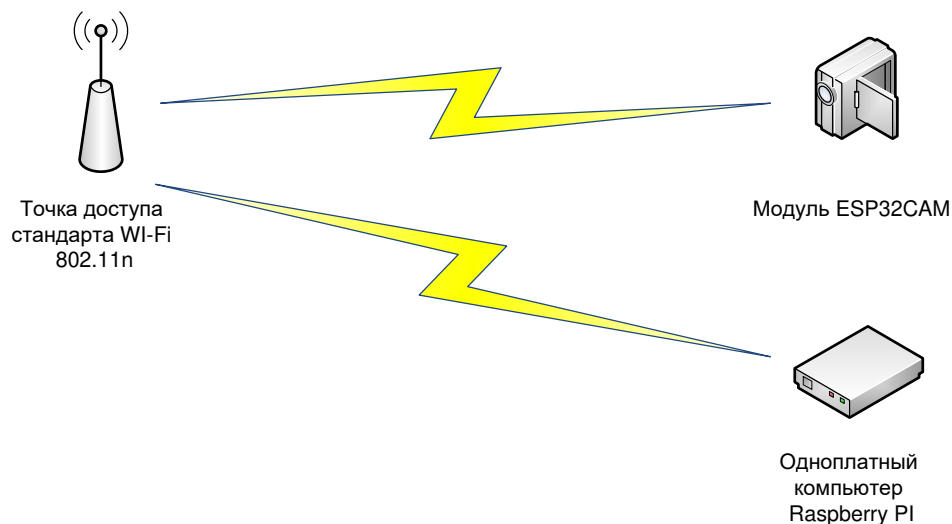


Рис 1. Исследуемая сеть

Целью данного исследования является:

1. нахождение закономерностей в потоке трафика, создаваемого модулем ESP32 CAM;
2. нахождение наиболее подходящей модели трафика для описания работы данной сети.

Время исследования составляет 60 минут, в пассивном режиме работы камеры. Полученный график трассировки сети показан на рисунке 2.

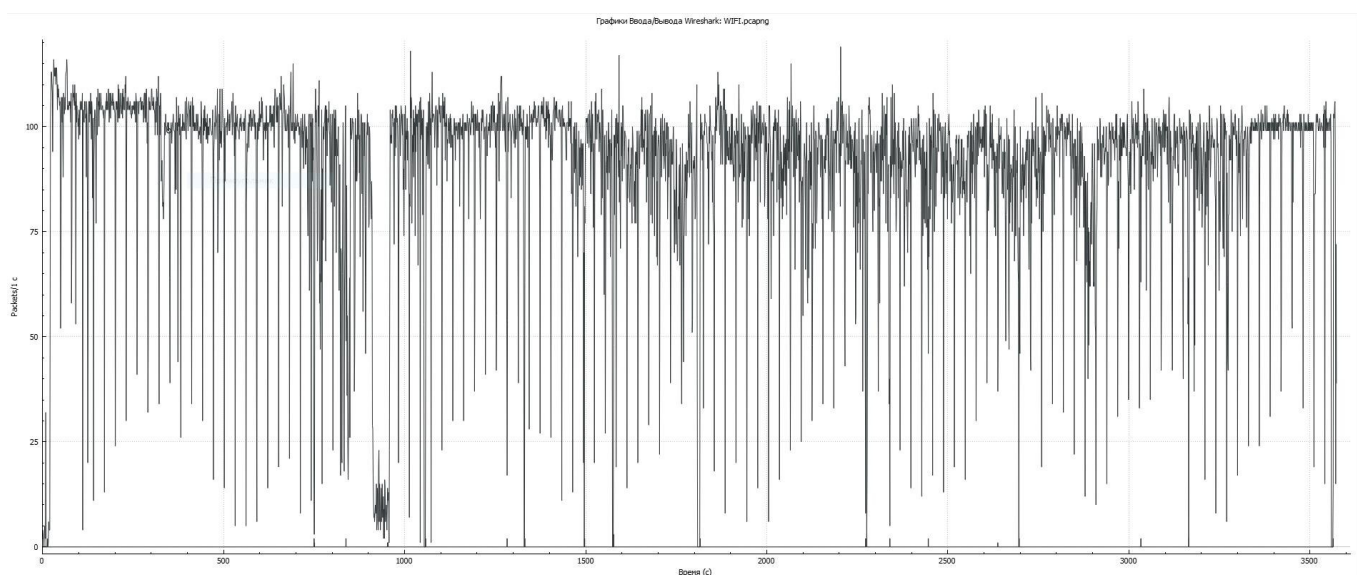


Рис 2 – График потока трафика модуля ESP32CAM

Используя метод R/S анализа (при анализе был исключен промежуток с 800 до 1000 секунд, так как в этом промежутке соединение с Raspberry PI было потеряно, также при сборе статистики были отфильтрованы пакеты содержащие ошибки) было получено следующие значение коэффициента Херста

$$H \approx 0.7$$

Мерой статистической устойчивости процесса (степенью самоподобия) при многократном масштабировании служит показатель Хёрста (H). При  $0,5 < H < 1$  – процесс персистентный или самоподобный (вероятность отклонения от среднего в том же направлении что и в предыдущий момент времени настолько велика, насколько показатель H близок к 1, т.е. чем ближе к 1, тем

процесс более трендоустойчивый). При  $0 < H < 0,5$  – процесс антиперсистентный или эргодический [1]

При стремлении показателя Херста к нулю, процесс становится более непредсказуемым (стремится сменить свое значение на противоположное).

Также представляет интерес представить график задержки передачи пакетов трафика, график показан на рисунке 3.

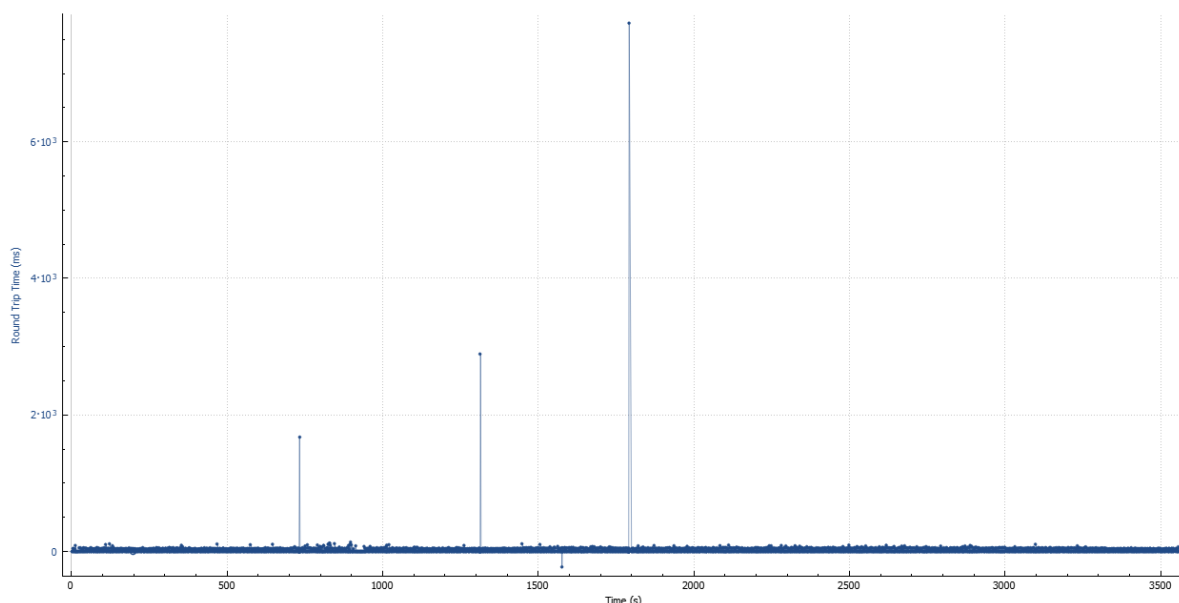


Рис 3. Задержка передачи пакетов

Исходя из данных статистики видно, что задержка 95% пакетов находится в пределах 50мс. Таким образом можно заметить, что трафик модуля Wi-Fi камеры представляет собой череду TCP запросов одного типа следующих через промежутки времени равные 50 мс и размером пакета составляющим около 54 байт.

Так как обработка изображений с камеры происходит не на самом модуле камеры в сети, то каждый TCP пакет сопровождается изображением в JPG формате, размеры которого могут сильно варьироваться (300-2300 байт), размеры пакетов представлены на рисунке 4.

Topic / Item	Count	Average	Min Val	Max Val	Rate (ms)	Percent	Burst Rate	Burst Start
Packet Lengths	322345	635,56	42	1490	0,0902	100%	0,2600	9,412
0-19	0	-	-	-	0,0000	0,00%	-	-
20-39	0	-	-	-	0,0000	0,00%	-	-
40-79	145724	54,16	42	79	0,0408	45,21%	0,2600	9,412
80-159	2647	112,50	80	159	0,0007	0,82%	0,0600	966,940
160-319	5084	230,66	160	319	0,0014	1,58%	0,0400	928,436
320-639	11139	503,06	320	639	0,0031	3,46%	0,0300	344,889
640-1279	94091	1057,28	640	1279	0,0263	29,19%	0,0700	28,286
1280-2559	63660	1420,41	1280	1490	0,0178	19,75%	0,0600	1592,574
2560-5119	0	-	-	-	0,0000	0,00%	-	-
5120 and greater	0	-	-	-	0,0000	0,00%	-	-

Рис 4. Статистика размера пакетов

При подборе моделей трафика рекомендуется использовать две самые распространенные модели для моделирования фрактального трафика, так ранее в данной работе было упомянуто что трафик данного модуля обладает свойством самоподобия.

Фрактальный гауссовский шум (Fractional Gaussian Noise - FGN) – стохастический, стационарный процесс, зависящий от показателя Херста и заданной функцией автокорреляции. Самым сложном процессом при моделировании трафика с помощью FGN является тот факт, что, подбор параметров для генерации трафика наиболее соответствующего экспериментальному, весьма трудоемкий процесс требующий соответствующей квалификации[2,3].

Фрактальное броуновское движение (Fractional Brown Motion - FBM). В основе модели FBM лежит случайный процесс, начинающийся в начале координат с независимыми бесконечно малыми гауссовскими приращениями. FBM описывается аналитически. Также для генерации FBM широко используются алгоритмы случайного перемещения средней точки (RMD-алгоритм) и алгоритмы последовательного случайного сложения (SLA-алгоритм)[4].

Результируя все обозначенные выше факторы можно говорить о том, что трафик устройств подобного типа будет состоять из однотипных запросов и ответов, в зависимости от способа и протокола передачи информации (TCP, MQTT и другие), таким образом описания трафика работы устройств Интернета вещей будет сводиться к поиску модели самоподобного трафика, как описано выше для этой наиболее подходят модели типа: фрактальный гауссовский шума и фрактальное броуновское движение. Данные модели обладают перечнем входных параметров, с помощью которых можно задать форму сигнала, а использование в данных моделях коэффициентов Херста позволяет учитывать особенности каждой отдельной модели модулей и устройств Интернета вещей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1 А. В. Осовский<sup>1</sup>, Д. В. Кутузов, О. В. Стукач «Анализ моделей трафика, создаваемого устройствами интернета вещей», Динамика систем, механизмов и машин. 2019. Том 7, № 4 [Электронный ресурс] Режим доступа URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-modeley-trafika-sozdavaemogo-ustroystvami-interneta-veschey>

- 2 Петров В.В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Москва, 2004. – 199 с
- 3 Ложковский А.Г. Модель мультисервисного трафика и метод расчета параметров QoS при его обслуживании // Радиотехника. – 2009. – Вып. 157. – С. 48 – 52
- 4 А.И. Костромицкий, В.С. Волотка «Подходы к моделированию самоподобного трафика», Восточно-Европейский журнал передовых технологий 4/7 ( 46 ) 2010 [Электронный ресурс] Режим доступа URL: <http://314159.ru/pi/kostromitsky1.pdf>

## РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ КОНТРОЛИРОВАТЬ ЗАТУХАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗЫ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Академия Федеральной Службы Охраны Российской Федерации

Ключевые слова: мониторинг; когерентный рефлектометр; узел связи, виброакустический сенсор.

В статье рассматривается целесообразность применения когерентной рефлектометрии в системе узла связи, обсуждаются особенности релейской и когерентной рефлектометрии, их характеристики, а также возможность их совместного использования. Была разработана функциональная схема объединенной системы мониторинга, описаны ее основные преимущества и недостатки.

**N.I. Rodkin, M.V. Nosov, V.O. Kuvaev**

## DEVELOPMENT OF A COMBINED MONITORING SYSTEM THAT ALLOWS TO CONTROL THE FADEENING AND PHASE CHANGES OF THE OPTICAL SIGNAL

Russian Federation Security Guard Service Federal Academy

Keywords: monitoring; coherent reflectometer; communication node, vibroacoustic sensor.

The article discusses the feasibility of using coherent reflectometry in the communication node system, discusses the features of Rayleigh and coherent reflectometry, their characteristics, as well as the possibility of their joint use. A functional diagram of the unified monitoring system was developed, its main advantages and disadvantages were described.

Широкое распространение современных цифровых сетей на основе волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) вызывает необходимость пересмотра принципов их обслуживания и эксплуатации. Наилучшим решением задач одновременного мониторинга нескольких волокон являются профессиональные системы мониторинга оптического волокна. Они позволяют работать с множеством волокон, причем существует возможность контролировать как темные (на длине волны 1550 нм) так и активные (на длине волны 1625 нм или 1650 нм) оптические волокна. Системы мониторинга ВОЛС снимают и сохраняют в памяти опорные рефлектограммы для всех тестируемых волокон и фиксируют отклонения по затуханию и отражению во всех точках линии.

Основным принципом распределенных волоконно-оптических датчиков является оптическая рефлектометрия во временной области (*OTDR - Optical Time Domain Reflectometer*), которая впервые была введена для контроля затухания в волокне. В методе *OTDR* узкий оптический импульс используется в качестве зондирующего сигнала для опроса тестируемого оптического волокна, затем обнаруживается сигнал обратного рассеяния от материала волокна, и изменения, вызванные внешними возмущениями, могут быть обнаружены из-за изменения амплитуды сигнала. Местоположение причины изменения определяется по времени прохождения импульса. То есть основным параметром, обнаруживаемым *OTDR* является затухание оптического сигнала при прохождении по оптоволоконному кабелю. Данный метод имеет определенные преимущества и недостатки, которые будут рассмотрены далее. Наравне с рефлектометрией, использующей в качестве исследуемого параметра затухание, применяется когерентная рефлектометрия (*C-OTDR - Coherent Optical Time Domain Reflectometer*). Она использует более узкий сигнал, обладающий большей когерентностью. В данном случае разность фаз сигнала прямого направления и сигнала обратного рассеяния постоянна. В

следствие этого рефлектограмма *C-OTDR* чувствительна к внешнему виброакустическому воздействию. Малейшие колебания около чувствительного волокна вызывают изменение рефлектограммы, эти изменения фиксируются системой мониторинга, далее выдается сигнал тревоги оператору. Задача данной работы заключается в том, чтобы определить целесообразность объединения возможностей двух систем мониторинга, основанных на разных рефлектометрах. [1]

В рамках данной работы будут рассмотрены три системы мониторинга, в которых применяются разные виды рефлектометров. В первой системе применяется рэлеевский рефлектометр, во второй – когерентный. Третья система предусматривает применение разработанного в рамках работы рефлектометра. В качестве критерия качества выполнения работы будет применен критерий превосходства. Целевая функция представлена в выражении:

$$R = \{R_i : N(R_i) > N(R_j)\}, i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

где  $N$  – количество параметров, определяющих время технической эксплуатации ВОЛС,  $R_1$  – система мониторинга на базе рэлеевского рефлектометра,  $R_2$  – система мониторинга, построенная на базе когерентного,  $R_3$  – система мониторинга, построенная на базе разработанной схемы.

Параметры, используемые для сравнения рассматриваемого оборудования  $R$ :  $\alpha$  – затухание линии,  $\varphi$  – фаза сигнала,  $T$  – температурное воздействие и  $\varepsilon$  – воздействие натяжения.

$$R(\alpha, \varphi, T, \varepsilon). \quad (2)$$

В ходе исследования будет определено, какое оборудование наиболее эффективно осуществляет мониторинг ВОЛС. Для этого будет проведен сравнительный анализ функциональных схем рэлеевского и когерентного рефлектометра.

Для выполнения функций мониторинга применяются устройства автоматического контроля оптических волокон. Они представляют собой оптический рефлектометр, который конструктивно объединен с устройствами управления, обработки, хранения и передачи данных. Данное устройство позволяет непрерывно измерять параметры ОВ в автоматическом режиме.

В целом, система мониторинга, построенная на базе *OTDR*, предназначена для контроля параметров ВОЛС, обнаружения и прогнозирования неисправностей в них.

На рисунке 1 представлена схема *OTDR*.

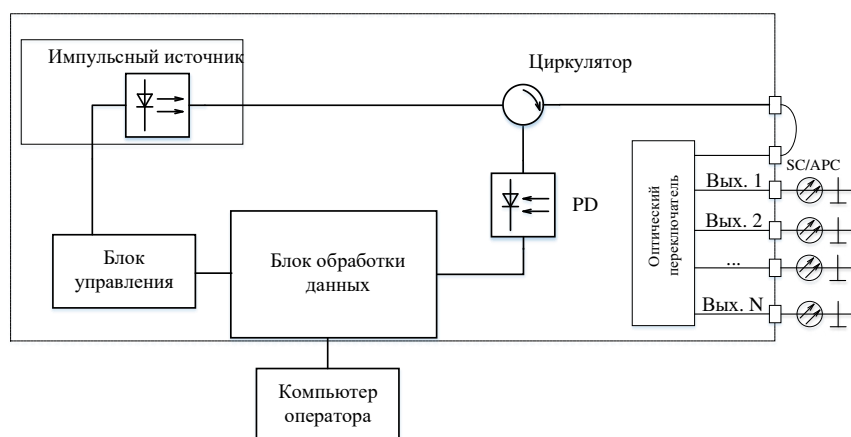


Рис. 1. Функциональная схема *OTDR*.

Работа рефлектометра основана на методе обратного рассеяния сигнала. В этом случае источник света посылает в волокно зондирующий импульс. Проходя по волокну, сигнал

частично отражается от неоднородностей волокна и фиксируется рефлектометром. Далее делаются выводы о параметрах линии.

Конструктивно рефлектометр состоит из двух модулей: оптического и базового. Задачей оптического модуля является проведение измерений параметров ВОЛС, базового – управление всеми блоками рефлектометра и вывод информации оператору.

Перед началом работы рефлектометр подключается к оптическому волокну через порт, в который вставляется коннектор оптического шнура (патч - корд). Далее оператор выбирает параметры зондирующего импульса: его ширину и мощность. Далее микропроцессор дает команду импульсному генератору на формирование электрического сигнала с требуемыми параметрами. Лазерный диод принимает от генератора электрический сигнал и формирует оптический импульс в соответствии с требуемыми параметрами. Далее сигнал через циркулятор и порт поступает в оптическую линию. Далее импульс проходя по оптической линии частично рассеивается в обратном направлении и поступает на порт. Пройдя через циркулятор, сигнал преобразуется в АЦП и анализируется микропроцессором. В итоге, оператор получает кривую зависимости мощности сигнала от расстояния. Данная кривая называется рефлектограммой.

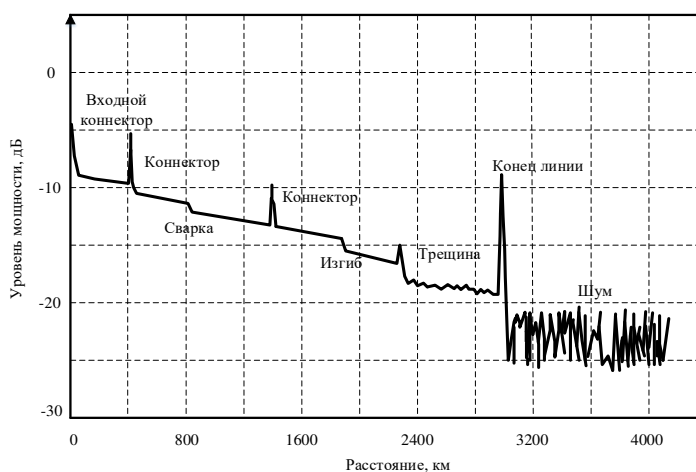


Рис. 2. Рефлектограмма *OTDR*.

На рисунке 2 представлена рефлектограмма *OTDR*. В зависимости от уровня затухания возможно определить тип воздействия на оптоволокно. Это определяет его основное преимущество перед когерентным рефлектометром. Основным недостатком является относительно низкая чувствительность измеряемого отрезка кабеля, это приводит к невозможности предупреждения несанкционированного доступа к оптическому волокну.

Когерентная рефлектометрия имеет схожий принцип работы с релеевской. Здесь также фиксируется сигнал обратного рассеяния и делается вывод о воздействии на волокно, но параметром, используемым для мониторинга, является фаза сигнала. Изменение разности фаз даже на 100 нм сильно влияет на мощность сигнала. Особенностью когерентного рефлектометра является применение узкополосного и более стабильного источника излучения. Это позволяет осуществить сложение отраженных волн когерентно, т.е. разница фаз у сигналов будет иметь постоянное значение во времени.

Рефлектограмма у когерентного рефлектометра представляет собой сильно изрезанную линию, форма которой обладает повышенной чувствительностью к внешним воздействиям на волокно.



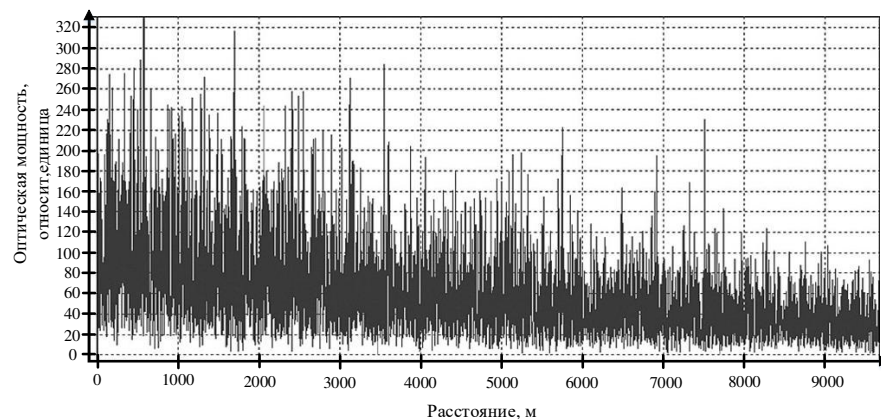


Рис. 3. Рефлектограмма C-OTDR.

Также когерентный рефлектометр позволяет осуществить обнаружение теплового воздействия на участок и изменение натяжения волокна. Недостатком данной рефлектограммы является то, что она практически непригодна для определения дефектов волокна.

Высокая чувствительность делает системы мониторинга на базе когерентного рефлектометра перспективным способом контроля активности вдоль волоконно-оптической линии. Данная система не требует применения специальных датчиков, так как в качестве чувствительного элемента используется оптоволокно. Вибрации, вызванные перемещением людей, движением техники или какими-либо работами, регистрируются оптическим волокном, детектируются системой мониторинга, а также определяется источник воздействия. Основная задача данной системы заблаговременно выявить НСД, которые могут повлиять на качество передачи информации и предотвратить ущерб.

На рисунке 4 представлена схема когерентного рефлектометра.

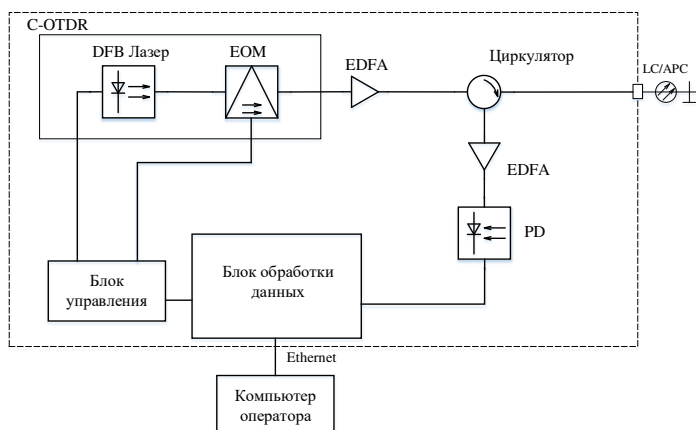


Рис. 4. Схема C – OTDR.

Таким образом, когерентный рефлектометр обладает более высокой чувствительностью и позволяет обнаруживать нарушителя до непосредственного контакта с оптическим кабелем. Однако, вид рефлектограммы не позволяет определять дефекты волокна, что делает ее недостаточно информативной. [3]

Исключить недостатки двух отдельных рефлектометров позволяет совместное применение релейского и когерентного рефлектометра в составе одной системы мониторинга. Функциональная схема комбинированной системы мониторинга представлена на рисунке 5.

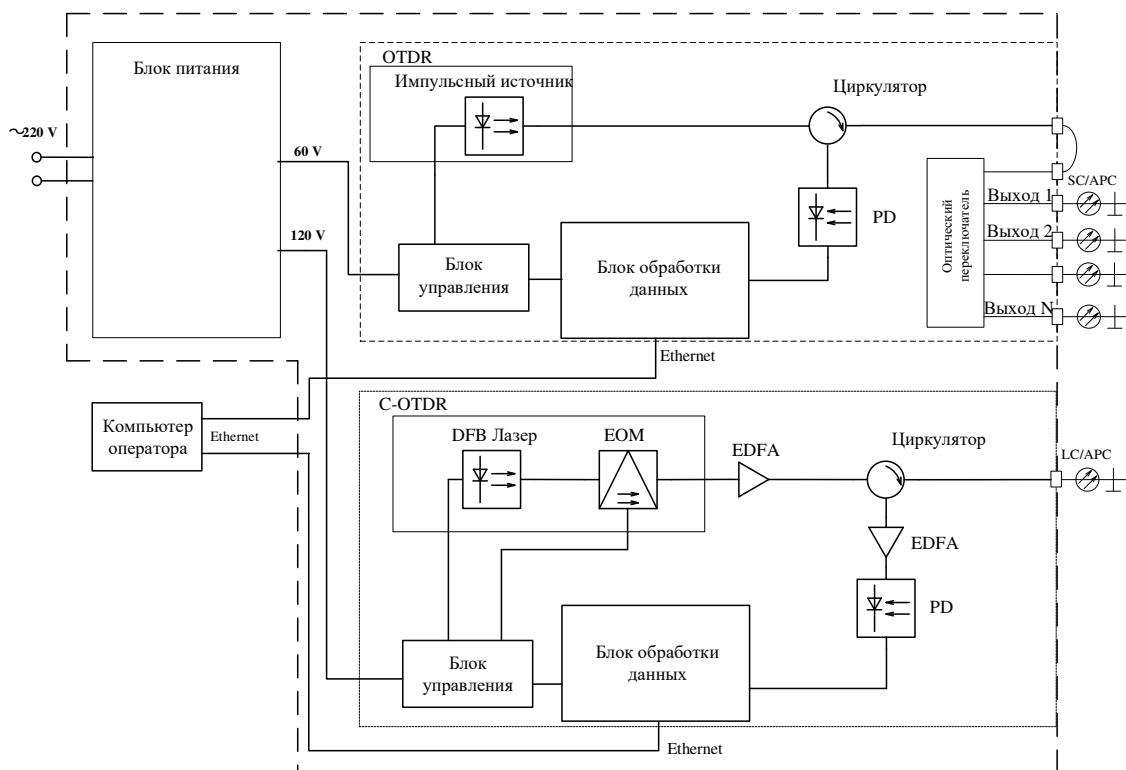


Рис. 5. Комбинированная система мониторинга.

Данная система мониторинга позволяет полноценно выполнять функции двух рефлектометров. Особенностью является то, что рефлектометры имеют единый блок питания, данные от двух рефлектометров поступают на единый компьютер оператора. Это позволяет оперативно реагировать на изменения параметров оптической линии.

Подключение к оптической линии осуществляется по разным волокнам.

Основные преимущества комбинированной системы мониторинга:

более широкий спектр возможностей по сравнению с каждым рефлектометром в отдельности;

возможность контроля затухания и фазы сигнала, натяжения волокна и температурное воздействие;

более точное определение местоположения НСД на оптической линии;

система не требует применения посторонних датчиков;

дополнительные возможности по контролю линейно-кабельных сооружений;

возможность раннего обнаружения приближения к оптическому кабелю и более точное представление о воздействии на оптическую линию.

Недостатками являются:

повышенная стоимость;

габаритно-массовые характеристики;

сложность конструкции.

Таким образом, в ходе работы было выявлено, что рэлеевский рефлектометр способен оценить затухание линии, связанное с макро- и микроизгибами. Когерентный рефлектометр обладает более высокой чувствительностью и способен определить изменение фазы сигнала, натяжение волокна и температурное воздействие. Однако, было установлено, что рефлектограмма рэлеевского рефлектометра имеет более информативный характер и позволяет более точно описать дефекты волокна. По критерию превосходства было определено, что комбинированная схема способна оценивать наибольшее количество параметров, поэтому для устранения отдельных недостатков предлагается применение именно этой системы мониторинга  $R_3$ . Данная система способна заранее обнаруживать приближение к волокну и ведение работ около него. Также система позволяет более точно определять местоположение воздействия на линию и характер данного воздействия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Родькин Н.И., Носов М.В, Зиновьев И.А. Анализ основных методов рефлектометрии, применяемых в области телекоммуникаций / Карбышевские чтения [Текст]: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции / под общ. ред. Грошевой Л.И. в 8 т., Т.6 – Тюмень: ТВВИКУ, 2021. – 355 с.
2. Бухарин М., Горбуленко В., Наний О., Никитин С., Трещиков В., Фомиряков Э., Харасов Д., Когерентный рэлеевский рефлектометр. Теперь и измерение температуры // ФОТОН-ЭКСПРЕСС, №2, 2019.
3. Шубин В.В. Информационная безопасность волоконно-оптических систем /В. В. Шубин. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2015. – 257 с.
4. Бухарин М., Горбуленко В., Наний О., Никитин С., Трещиков В., Фомиряков Э., Харасов Д., Когерентный рэлеевский рефлектометр. Теперь и измерение температуры // ФОТОН-ЭКСПРЕСС, №2, 2019.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ НА THD  
УСИЛИТЕЛЯ КЛАССА «А»**

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
в г. Екатеринбург. (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: Hi-Fi, Hi-End, усилитель, частота, THD, коэффициент передачи, конденсатор.

В статье приведены зависимости коэффициента нелинейных искажений (THD) усилителя в зависимости от типа конденсатора и частоты, подаваемой с генератора.

**V.R. Tairov, V.Y. Riekstyn, P.E. Belykh, Z.A. Mehtiev, D.A. Ovchinnikov, S.Y. Krasnykh**

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SEPARATION CAPACITORS ON THE THD  
OF A CLASS "A" AMPLIFIER**

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg. (UrTISI SibGUTI)

Keywords: Hi-Fi, Hi-End, amplifier, frequency, THD, gain, capacitor.

The article provides the dependence of the coefficient of non-linear distortion (THD) of the amplifier, depending on the type of capacitor and the frequency supplied from the generator.

*1. Цели и задачи работы*

Целью данной работы является проверка теории о том, что конденсаторы в тракте аудиосистем будут вносить минимальные искажения в сигнал, только если они имеют определённую конструкцию и материал корпуса; в среде аудиолюбителей, так называемые «аудиофильские» конденсаторы, за которые нужно платить в разы больше, чем за конденсаторы обычные.

В связи с постоянно растущими запросами и потребностями любителей качественного аудио Hi-Fi/High-End-производители всё время прилагают усилия по улучшению качества звучания своих продуктов. Применяемые пассивные радиотехнические комплектующие, в том числе конденсаторы, стоят в стороне от наиболее интересных активных компонентов, но их влияние на конечный результат, с точки зрения аудиолюбителей, очень высоко, поскольку только «наилучшие» элементы могут использоваться в аудиотехнике класса High-End.

Суть работы - найти ответ на вопросы: «Есть ли смысл использования разных типов конденсаторов в усилителях класса «А»?» и «Как ёмкость конденсатора влияет на АЧХ»

*2. Определение условий расчета и параметров*

Для выполнения задачи, перед началом работы, были взяты конденсаторы разных типов, ёмкостью  $C = 1$  мкФ:

- а) неполярный керамический, многослойный выводной (X7R);
- б) полярный оксидно-полупроводниковый, ниобиевый выводной (K53-4-16-1);
- в) металлобумажный неполярный (МБМ-160-1);
- г) неполярный полипропиленовый (BFC233920105);
- д) неполярный электролитический (NR-50-1);
- е) полярный электролитический, алюминиевый радиальный (EXR-160-1);
- ж) полярный оксидно-полупроводниковый, выводной танталовый (TECAP).

После выбора конденсаторов для дальнейшего исследования, проведены измерения THD на собранной схеме усилителя с условием размещения разных типов конденсаторов при последовательном изменении частоты генератора

Результат приведён в виде графика зависимостей на частотах от 20 Гц до 20 кГц (рис. 1)

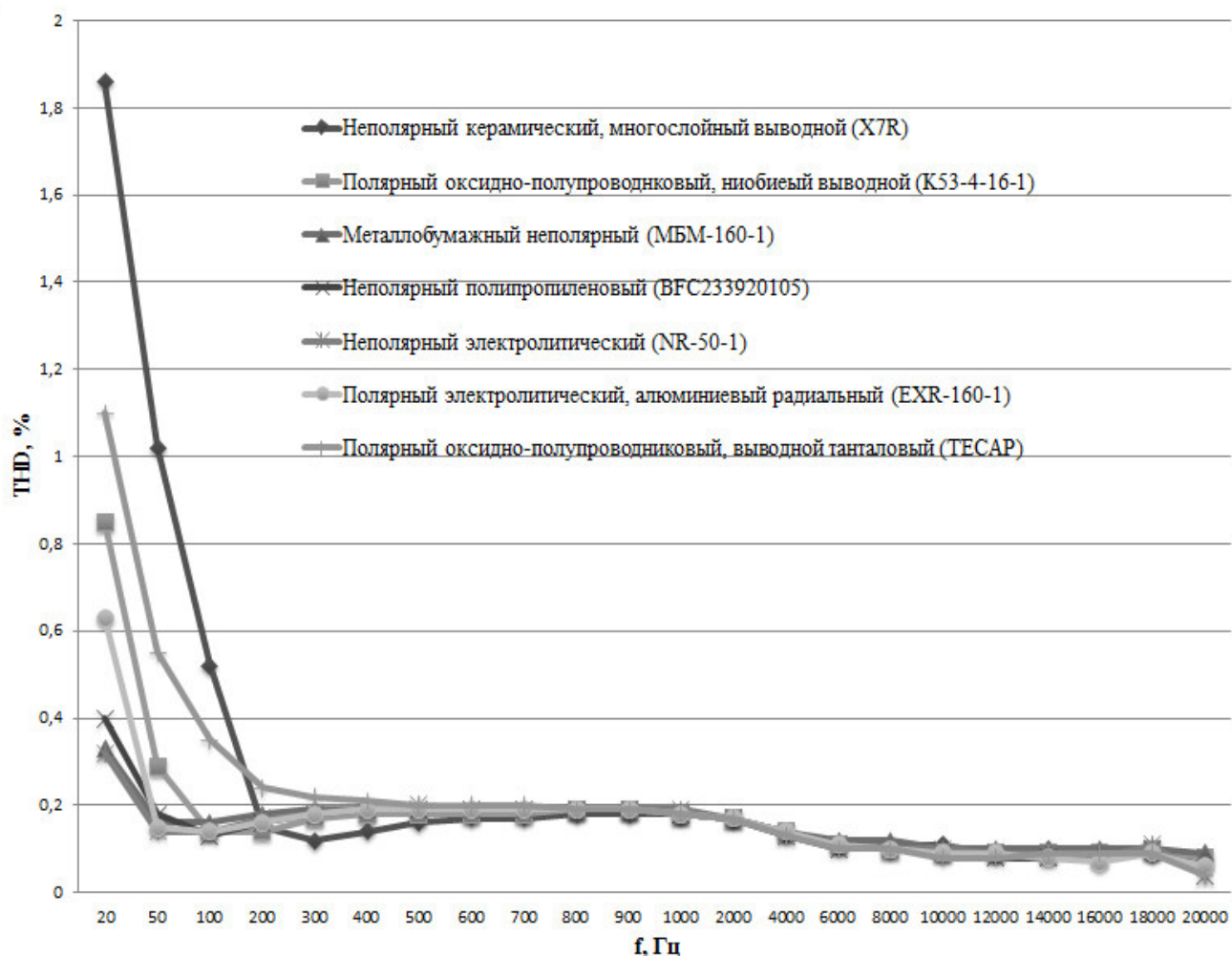


Рис.1 - График зависимости полного гармонического искажения от частоты

### 3. Выбор типа конденсатора и различных емкостей данного типа для анализа влияния величины ёмкости на THD

Для сравнительного анализа влияния ёмкости конденсатора на THD, были выбраны неполярные электролитические конденсаторы номиналом 1, 2,2, 22, 100 и 330 мкФ:

- а) (NR-50-1) - 1 мкФ;
- б) (NR-50-2.2) - 2.2 мкФ;
- в) (NR-25-22) - 22 мкФ;
- г) (NR-25-100) - 100 мкФ;
- д) (NR-16-330) - 330 мкФ.

В качестве визуального отображения результатов, приведён график зависимости полного гармонического искажения от ёмкости выбранных конденсаторов (рис. 2)

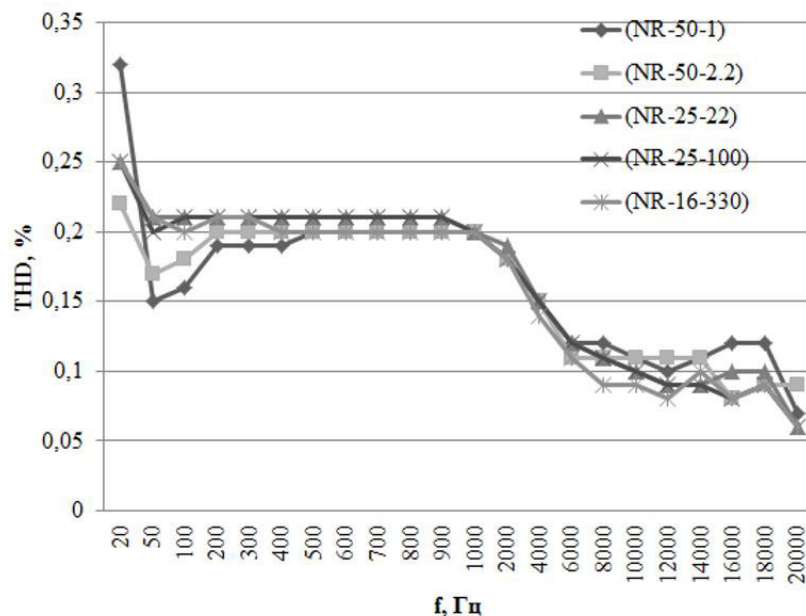


Рис. 2 - График зависимости THD от ёмкости конденсаторов

#### 4. Анализ влияния ёмкостей конденсаторов одного типа на АЧХ

Для сравнительного анализа влияния ёмкости конденсатора на АЧХ усилителя, использовались те же конденсаторы, что и для пункта 3 данной работы (неполярные электролитические конденсаторы номиналом 1, 2.2, 22, 100 и 330 мкФ):

- а) (NR-50-1) - 1 мкФ;
- б) (NR-50-2.2) - 2.2 мкФ;
- в) (NR-25-22) - 22 мкФ;
- г) (NR-25-100) - 100 мкФ;
- д) (NR-16-330) - 330 мкФ.

В результате последовательных измерений и сопоставления полученных данных, получен итоговый график зависимости коэффициента передачи конденсаторов разных ёмкостей от частоты (рис. 3).

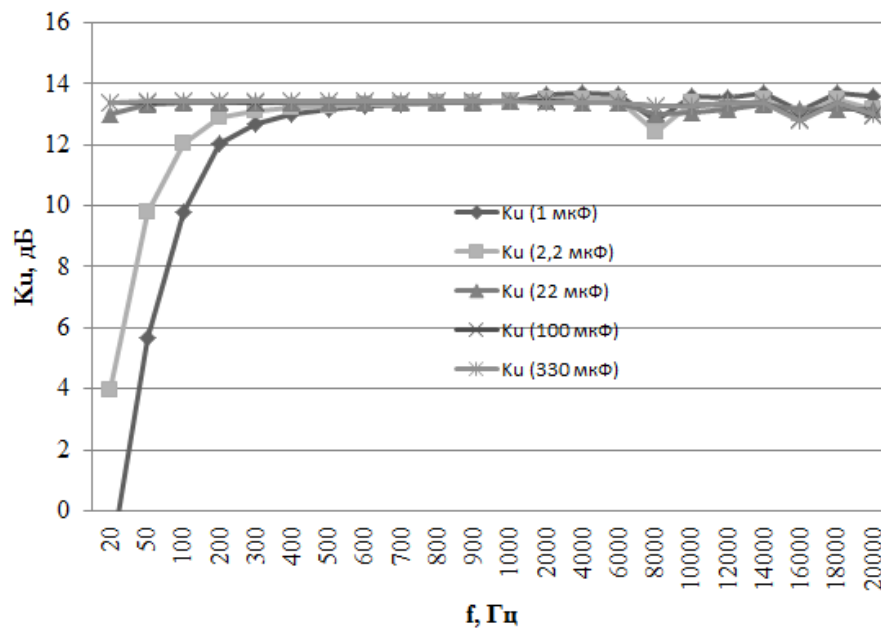


Рис. 3 -График зависимости коэффициентов передачи от частоты

#### 5. Заключение и выводы

Согласно стандарту качества Hi-Fi, усилители класса «А» должны иметь коэффициент гармонических искажений не более 1% в полосе частот до 20 кГц при номинальной мощности.

Искажения до 1% на слух либо не заметны совсем, либо едва слышны. Классы усилителей Hi-Fi и Hi-End нормируют показатели THD во всем слышимом диапазоне частот к 0,1%. То есть, если искажения на конденсаторе приблизительно равны указанным, то он не оказывает существенного влияния на общие искажения, вносимые всеми компонентами системы аудиотракта. Согласно графику зависимостей THD (рис. 1), 5 из 7 выбранных конденсаторов различных типов соответствуют данному условию на всех частотах в выбранном диапазоне (за исключением неполярного керамического многослойного выводного (X7R) и полярного оксидно-полупроводникового выводного танталового (TECAP), на частоте до 50-100 Гц превышающих показатель THD, равный 1%).

Стоит также уточнить, что собственные полные гармонические искажения лабораторной установки NI ELVIS II составляют 0,06%; следовательно, можно вычесть эту величину из полученного значения для получения более точного результата. Показатель THD на частоте 1 кГц, у всех конденсаторов равный 0,18%, будет 0,12%, что максимально приближено к норме Hi-Fi и Hi-End.

Можно отметить, что конденсаторы, использованные для данной работы, мало чем отличаются по показаниям полного гармонического искажения друг от друга, что позволяет прийти к следующему выводу: вне зависимости от выбранного типа конденсаторов для усилителя, показатель THD будет примерно одинаковым.

Итоговая диаграмма сравнительного анализа влияния разных ёмкостей конденсаторов одного типа на THD (рис. 2) приводит к выводу о том, что на более низких частотах (0-500 Гц) самые минимальные показатели THD имеют конденсаторы с меньшей ёмкостью, в то время как они же имеют самые высокие показатели полного гармонического искажения на более высоких частотах (6-20кГц). В диапазоне частот от 0,5 до 6 кГц ёмкость конденсаторов не имеет особого влияния на показатель THD, т.к. эти показатели примерно одинаковы

Из графика зависимости коэффициентов передачи конденсаторов разных ёмкостей от частоты (рис. 3) стоит сделать вывод о том, что у конденсаторов, ёмкостью 22 мкФ и более, частота среза меньше 20 Гц, т.к. такое значение избыточно для усилителя. Для конденсаторов, ёмкостью 1 и 2.2 мкФ, значение частот среза будет около 80 Гц. Следовательно, ёмкость разделительного конденсатора должна лежать в пределах больше 2,2 мкФ, но меньше 22 мкФ

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:

- 1) Аудиосистема класса Hi-Fi своими руками: советы и секреты / Д.А. Андреев, М.В. Торопкин — 2006.
- 2) Справочник по радиоэлектронным устройствам. В 2 т. / Под ред. Д. П. Линде — М.: Энергия, 1978.
- 3) Фрунджян Артур. Маленькие секреты конденсаторов // Класс А. — 1996. — спецвыпуск — с. 12-15.
- 4) Салон элитной hi-fi hi-end аппаратуры [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.hifiaudio-spb.ru/ampl/ampl2/> – Загл. с экрана.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В МОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: мобильные сети связи, распределение ресурсов, планировщик сети, динамический спектр, когнитивное радио, машинное обучение.

В статье приведен анализ методов и алгоритмов распределения ресурсов в мобильных сетях передачи данных на основе обзора отечественных и зарубежных научных публикаций. Планирование ресурсов основывается на постоянном мониторинге и подстройке параметров сети, для чего могут применяться различные алгоритмы и методы. Проведенный обзор публикаций показывает, каким образом можно снизить неэффективность использования ресурсов в сети.

S.A. Tychinkin, K.I. Bragin, V.G. Drozdova

## ANALYSIS OF RESOURCE ALLOCATION METHODS IN MOBILE DATA NETWORKS

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTICI SibSUTIS)

Keywords: mobile data network, dynamic resource allocation, 5G scheduler, dynamic spectrum, cognitive radio, machine learning.

The article provides an analysis of methods and algorithms for resource allocation in mobile data networks based on a review of domestic and foreign scientific publications. Scheduling is based on the constant monitoring and adjustment of network parameters, for which different algorithms and methods can be applied. This review of publications shows how resource inefficiency can be reduced.

Развитие отрасли телекоммуникаций позволяет прогнозировать возможные виды услуг и трафика в сетях передачи данных. К таким услугам относят дополненную реальность, умный город, в том числе беспилотный автотранспорт и Индустрию 4.0, машинное обучение и сетевой искусственный интеллект, тактильное и мультисенсорное общение, голограммы, и пр. В различных сценариях использования к сетям предъявляются повышенные требования к качеству передачи данных. Учитывается не только пропускная способность и задержки, но и мобильность абонентов.

Построение глобальной единой информационной сети при приближении концепции Международного союза электросвязи невозможно без участия беспроводных телекоммуникаций (концепция глобальной сети во всех уголках Земли, где вещи и люди соединены). Исходя из теоремы Шеннона-Хартли о кодировании канала [1], учеными и инженерами связи давно сделаны выводы о способах увеличения скорости и количества передаваемых в канале данных. Самым простым способом является расширение полосы пропускания, но из-за этого страдает дальность беспроводной связи. Методы кодирования информации предоставляют запас прочности по защите от помех, тем самым избегая затрат на восстановление искаженных данных, чтобы уместить их как можно больше в самом канале. Это повысит емкость канала, однако следует рассматривать мобильную сеть как единый сложный механизм, работа которого должна быть четко организована и хорошо отлажена. Поэтому, особое внимание уделяется эффективности использования ресурсов сети и гибкости.



Распределение ресурсов сети требует автоматизации, для чего разрабатываются специальные алгоритмы и методы оптимизации ввиду того, что человек не способен отслеживать абсолютно все процессы, происходящие в момент времени.

Цель данной работы – провести анализ методов распределения ресурсов радиоинтерфейса в мобильных сетях передачи данных, опираясь на публикации отечественных и зарубежных специалистов в области беспроводных сетей связи, определить перспективные направления развития в данной тематике на основе полученных результатов и поднимаемой проблематики текущих исследований.

В понятие управления ресурсами беспроводной сети закладывается глубокий смысл, простирающийся от экономики до технологий и программных алгоритмов. Если рассматривать вопрос с технологической точки зрения, то следует обратить внимание на решение задачи составления расписания работы планировщика. Современный сетевой трафик разнороден, в него могут входить как текстовая и звуковая, так и речевая информация. Каждый из этих классов трафика предъявляет различные требования к скорости передачи, задержкам в сети и джиттеру. Чем эффективнее будет планирование выделения ресурсов, тем быстрее окупятся вложенные затраты. Функцию динамического распределения радиоресурсов на базовых станциях мобильных сетей называют «планировщиком» (Scheduler), и она реализуется в рамках MAC-протокола (Medium Access Control).

Существует подход, при котором работа планировщика состоит в вычислении некоторых весовых коэффициентов, с помощью которых можно приоритезировать отдельных пользователей или их сессии. В литературе можно найти десятки различных способов определения данных весовых коэффициентов, которые в зависимости от условий приводят к оптимальному составлению расписания. Например, в работе Пасечнюка Д.А. [2] задача составления расписания распределения (временных) ресурсов базовой станции, осуществляющей взаимодействие клиентов и серверов, рассматривается в качестве численного эксперимента по отбору различных индексов. В качестве научного результата автор приводит тезис о том, что при естественных условиях распределения трафика с помощью комбинации имеющихся индексов не удастся получить лучший по свойствам комбинированный индекс (путем линейной или вероятностной комбинации). Также в работе были получены новые индексы, которые показали хорошие результаты при использовании известных критериев качества работы планировщика ALPT и logALPT. Со всеми индексами были проведены эксперименты на модельных данных, что подтверждает эффективность полученных индексов.

Оптимизация использования ресурсов может проводиться на уровне доступа к среде MAC, при этом передовые исследования опираются на возможности применения алгоритмов машинного обучения. Таким образом, сеть может выполнить разметку данных обучаясь «на лету», регулировать схему модуляции и кодирования на основе обратной связи от приемников. Распределением ресурсов может являться регулирование возможности доступа, передачи, мощности или частотного спектра, распределение трафика с буфером. Методы машинного обучения способны запоминать опыт гибкой настройки различных модулей приемопередатчика и взаимодействия между сетевыми объектами, что может привести к колоссальному росту производительности.

Производительность системы улучшается, если параметры сети могут адаптироваться к быстро меняющейся среде. Однако, количество этих параметров велико, равно как и возможности их подстройки и взаимосвязи друг с другом. Для решения такой оптимизационной задачи в реальном времени может быть разработан интеллектуальный MAC-контроллер, который будет способен контролировать решение задач по управлению лучом (Beamforming), выделение ресурса канала, адаптацию MCS (англ. Modulation and Coding Scheme), а также гибкую нумерологию (англ. Numerology), использующуюся в сетях пятого поколения (5G), и контроль за различными сигнальными механизмами [3]. Научная значимость данного труда заключается в весьма объемном технологическом представлении концепции беспроводной сети мобильной связи шестого поколения (6G), с учетом огромного числа уже существующих наработок и статей большого количества авторов.

Также, стоит отметить работу Трубина И.С. [4], где рассматривается классификация моделей распределения спектра, которые, в концепции когнитивного радио, позволяют повысить эффективность используемого спектрального ресурса.

В свою очередь, когнитивные технологии вносят значительное влияние в развитии телекоммуникаций, и среди них выделяют следующие направления:

- когнитивные беспроводные сети, основанные на принципах когнитивного радио, управлении частотными ресурсами и эффективном использовании спектра;
- организация гибкой и эффективной системы технической эксплуатации, прогнозирующей поведение сети;
- внедрение между сетью и пользователем «дружественного интерфейса», основанного на принципах освоения задач пользователем за минимальное время;
- поддержка новых услуг, которые будут обеспечивать индивидуальные решения для каждого пользователя.

Большое количество исследований в области когнитивного радио основываются на влиянии когнитивных процессов на физическом уровне, то есть на правильном обеспечении работы радиосистемы и доступных ресурсов. Поэтому, наличия в сети узлов, которые реализуют работу когнитивного радио, недостаточно, чтобы сеть называлась когнитивной. Существенное отличие когнитивной сети от когнитивного радио в том, что первая может быть гетерогенной, а вторая - нет.

Значительное влияние на стабильность соединения любой беспроводной сети оказывает радио обстановка из-за погодных условий и рельефа местности, поэтому очень трудно подобрать подходящие параметры устройств связи для любых условий. Также, электромагнитный спектр, который пригоден для современных мобильных телекоммуникаций - является конечным ресурсом, поэтому есть необходимость эффективного распределения спектрального ресурса, который сейчас является статическим во многих доступных полосах частот. Для решения проблемы неэффективного использования спектрального ресурса автор приводит в пример подход, основанный на концепции когнитивного радио - интеллектуальной беспроводной системы связи, способной к анализу окружающей обстановки и приспособлению к ней посредством обучения. Так, беспроводная система связи, реагирует на изменение в окружении, тем самым изменяя собственные параметры (способ модуляции, мощность, несущую частоту) в реальном времени увеличивая эффективность использования спектрального ресурса. В свою очередь, изменение параметров основывается на постоянном отслеживании трех факторов в радио окружении: состоянии сети, поведении пользователя и спектре радиочастот. Когнитивное радио подразумевает динамическое распределение спектра, и в работе автором приводится классификация моделей динамического доступа к спектру, представленная на рис. 1.

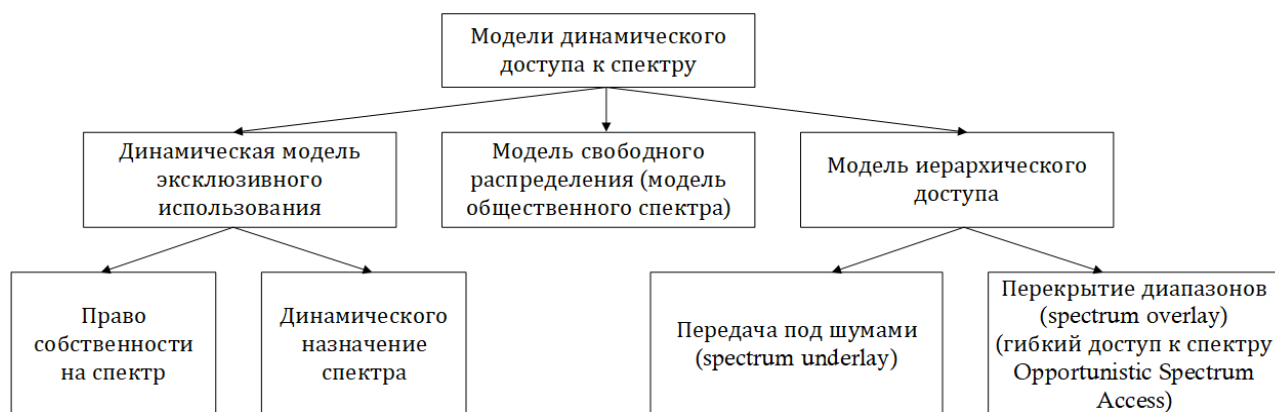


Рис. 1. Классификации моделей динамического доступа к спектру

Данные модели позволяют детально рассмотреть область управления спектральными ресурсами, и тем самым отыскать подход к решению задач динамического доступа к спектру.

Методы решения задач динамического доступа к спектру представлены на рис. 2, но стоит отметить, что приведенный перечень возможно продолжить.

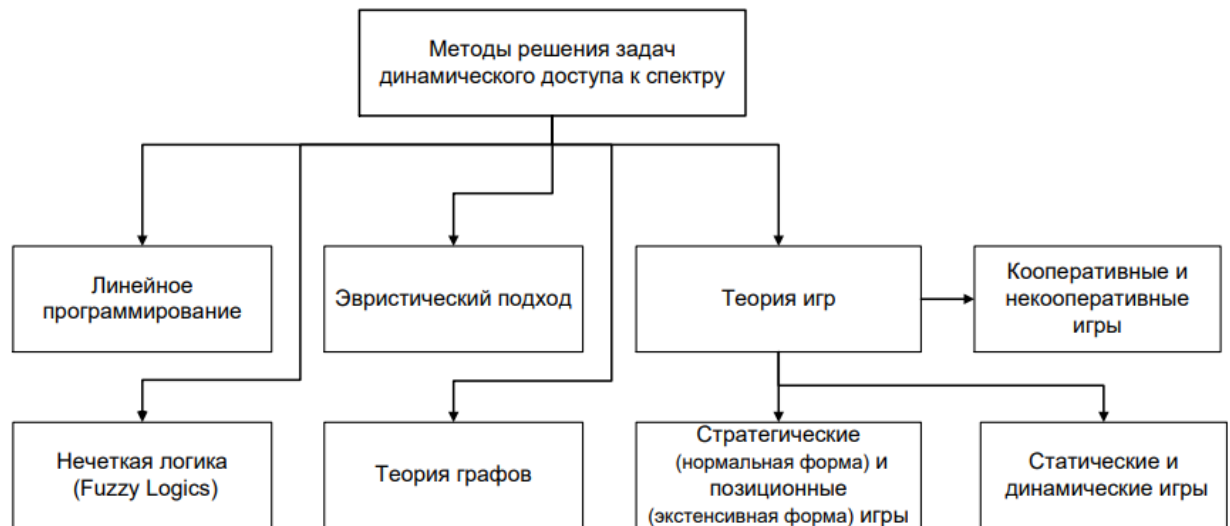


Рис. 2. Методы решения задач динамического доступа к спектру

Выбор определенной технологии распределения спектральных ресурсов основывается на параметрах детектирования и качестве обслуживания сети связи. Так, в рамках когнитивного подхода, решается более широкий спектр задач, чем одно динамическое распределение спектра, но это является одной из важнейших областей для реализации когнитивного радио.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что применение различных методов распределения ресурсов в сети позволяет эффективно их использовать, уменьшить задержки на узлах связи и оптимизировать трафик. Это является одной из важных исследовательских задач, над которой трудятся как отечественные, так и зарубежные ученые. На данный момент существует множество методов оптимизации распределения ресурсов сети, это открывает перспективы при изучении данной проблемы.

Следует отметить, что в данной статье приведен неполный перечень изученной авторами литературы, и он достаточно обширен, так как данная область исследований решает актуальные вопросы развития мобильных сетей передачи данных. Авторы намерены продолжить исследование в рамках данной тематики, используя проведенный анализ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Образовательный портал Наука.Club. Формула Шеннона [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nauka.club/informatika/formula-shennona.html>
2. Пасечнюк Д. А., Планирование распределения ресурсов вышки мобильной связи // Труды МФТИ. 2019. №2. – с. 38-48.
3. Вэнь Тонг, Пейин Чжу, Сети 6G. Путь от 5G к 6G глазами разработчиков. От подключенных людей и вещей к подключенному интеллекту / пер. с англ. В. С. Яценкова. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 624 с.
4. Трубин, И. С. Динамическое распределение спектра в когнитивных сетях связи / И. С. Трубин // Advanced Science. – 2017. – № 2(6). – С. 37.

## УСТРОЙСТВА ЗАДЕРЖКИ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА

Санкт-Петербургский государственный университет  
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Ключевые слова: линия задержки (ЛЗ), управляемое устройство задержки (УУЗ), компаратор, линейность преобразования, ключ тока (напряжения), цифроаналоговый преобразователь.

Рассмотрены методы квантования задержки импульсного сигнала в наносекундном диапазоне с помощью цифроаналоговых и цифровых методов. Управление задержкой необходимо для уменьшения временного рассогласования в параллельных цифровых потоках. Рассмотрены структуры устройств задержки и их возможная реализация.

Y.A. Nikitin

## DIGITAL SIGNAL DELAY DEVICES NANOSECOND RANGE

Sankt-Petersburg branch of FSUE NIIR-LONIIR, Russia, St. Petersburg, Russia; State University of  
Telecommunications named prof. M.A. Bonch - Bruevich

Key words: delay line (DL), controlled delay device (CDD), comparator, conversion linearity, current (voltage) key, digital-to-analog converter.

Methods for quantizing the delay of a pulsed signal in the nanosecond range using digital-to-analog and digital methods are considered. Delay control is necessary to reduce the timing error in parallel digital streams. The structures of delay devices and their possible implementation are considered.

Временные преобразования и измерения широко используются в различных областях радиотехники, в том числе, и в технике синтеза частот.

Одна из разновидностей приборов для временных преобразований – линия задержки (ЛЗ). Она предназначена для задержки электрических сигналов на заданный интервал времени, от единиц пикосекунд до десятков миллисекунд и более. ЛЗ широко применяются в радиолокации и радионавигации, технике связи и в измерительной технике. ЛЗ необходимы для согласования скоростей распространения колебаний в устройствах сложения мощностей, в фазированных антенных решетках, при параллельной многоканальной обработке сигналов в микросхемах программируемой логики, в компьютерах и т.д.

При работе с импульсными сигналами цифровых систем управления коррекция положения и выравнивание общей задержки активных перепадов многоуровневых цифровых микросхем необходимы для синхронизации вычислительных процессов, для программного управления положением диаграммы направленности фазированных антенных решеток.

В радиоэлектронных приборах используют как ЛЗ фиксированного интервала времени, так и коммутируемые линии задержки, а при синтезе частот – и управляемые (программируемые) устройства задержки (УУЗ) [1].

Под линией задержки (ЛЗ), применяемой в импульсной технике, понимают устройство, которое включают между источником сигнала и нагрузкой, служащее для задержки поступления сигнала в нагрузку на некоторое заданное время  $t_3$ . Простейшими искусственными ЛЗ могут быть  $RC$ - или  $RL$ -цепи (рис. 1, а). Временные диаграммы работы  $RC$  и  $RL$  фильтров нижних частот приведены на рис. 1, б.

С помощью пороговых устройств можно точно зафиксировать время  $t_3$ , как показано на рис.2, а. В качестве порогового устройства применен буферный ТТЛ элемент – триггер Шмитта 74AC04, который вносит дополнительную задержку переключения. При питании 5В и собственном времени задержки переключения 4нс точка переключения логических уровней на входной характеристика лежит в диапазоне 2...2,5В – рис.2, б.

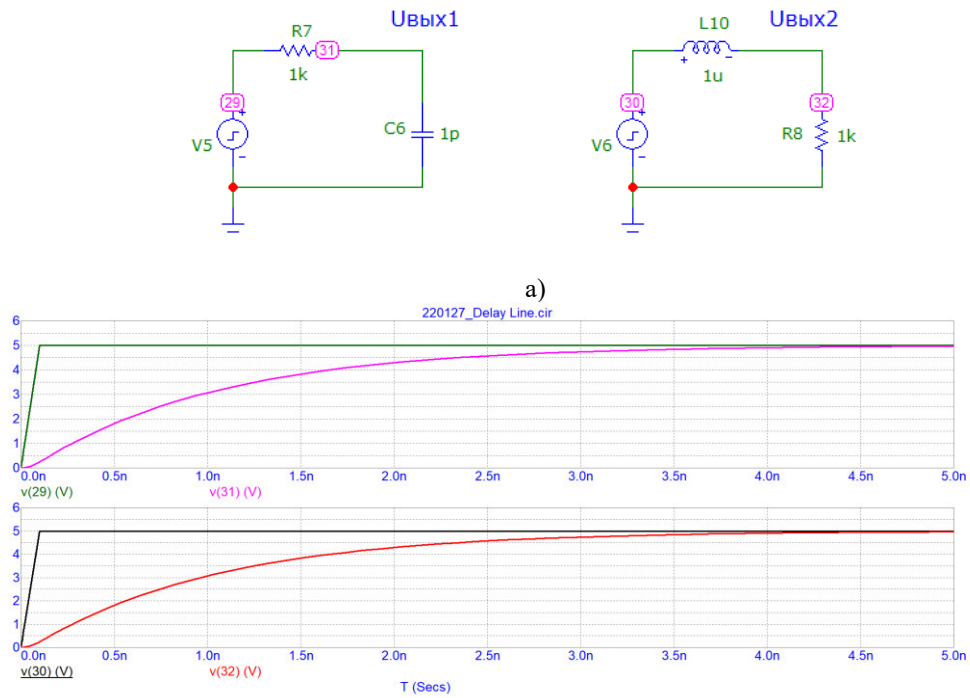


Рис. 1. Простейшие звенья ЛЗ, а) и временные диаграммы работы, б)

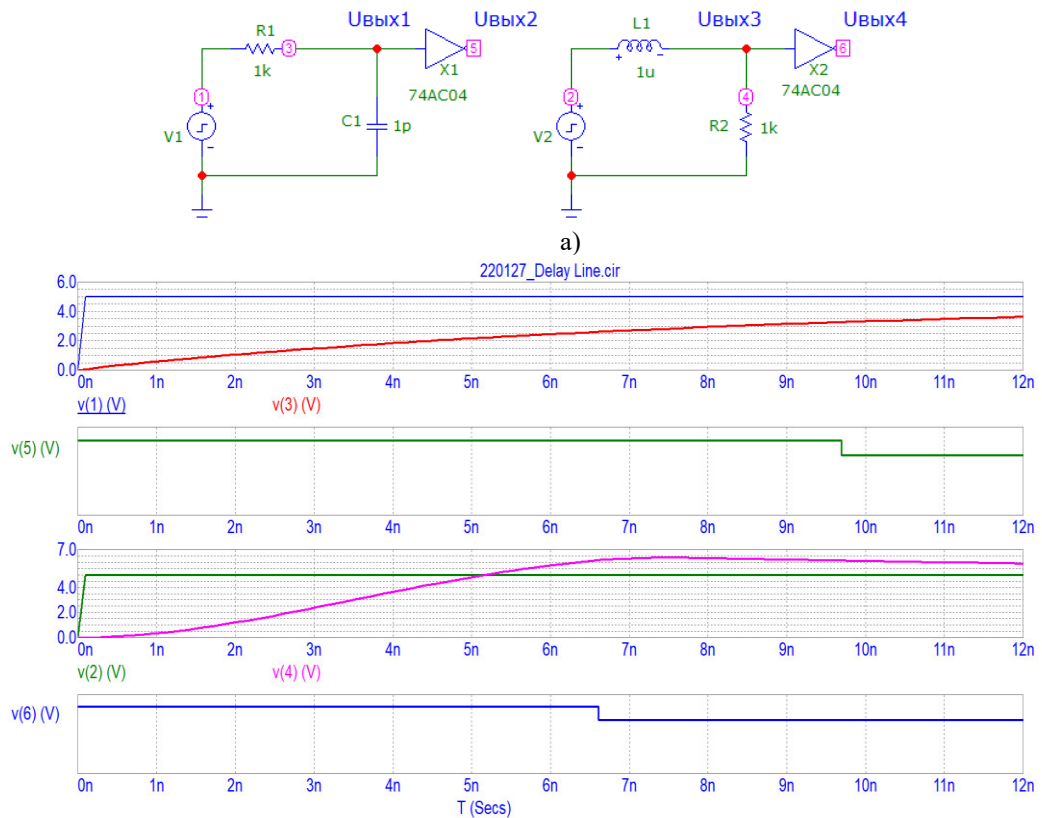


Рис. 2. Простейшие звенья ЛЗ с фиксацией задержки, а) и временные диаграммы работы, б)

На рис.3 показана модель многозвенной ЛЗ с идентичными  $RL$  звеньями, в которой в качестве пороговых устройств (компараторов) используются буферные логические элементы серии 74AC04.

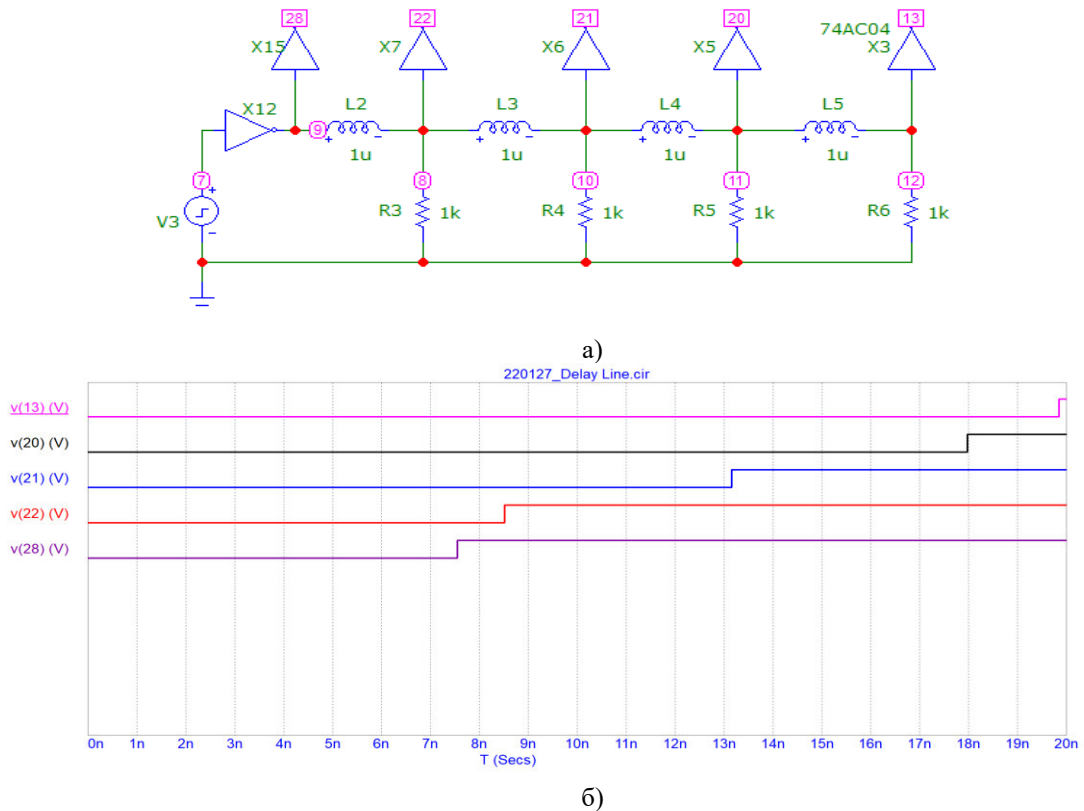


Рис. 3. ЛЗ на основе 4-х  $LR$  звеньев, а) и временные диаграммы ее работы, б)

Длительность задержки  $t_1$  одного звена  $LC$  линии определяется производной фазочастотной характеристики:

$$t_1 = \frac{du}{d\omega} = \frac{2}{\omega_c \sqrt{1 - (\frac{\omega}{\omega_c})^2}},$$

где  $\omega_c = 1/\sqrt{LC}$  – частота среза ЛЗ.

Для широкополосных ЛЗ, т.е. в случае  $\omega \ll \omega_c$ , время задержки можно определить по приближенной формуле

$$t_3 \approx n\sqrt{LC},$$

где  $n$  – число звеньев ЛЗ. При идеальном скачке напряжения на входе ЛЗ (при подаче на ее вход функции Хевисайда) длительность фронта на выходе одного звена в случае согласованной нагрузке ( $R_n = \rho = \sqrt{L/C}$  – волновому сопротивлению ЛЗ)  $t_\phi \approx 1,13\sqrt{LC}$ , а для  $n$ -звенной ЛЗ

$$t_\phi = t_1 n^{2/3} = 1,13 n^{2/3} \sqrt{LC}.$$

На рис.4 показана модель многозвенной ЛЗ с идентичными  $LC$  звеньями, в которой в качестве пороговых устройств (компараторов) также используются буферные логические элементы серии 74AC04.

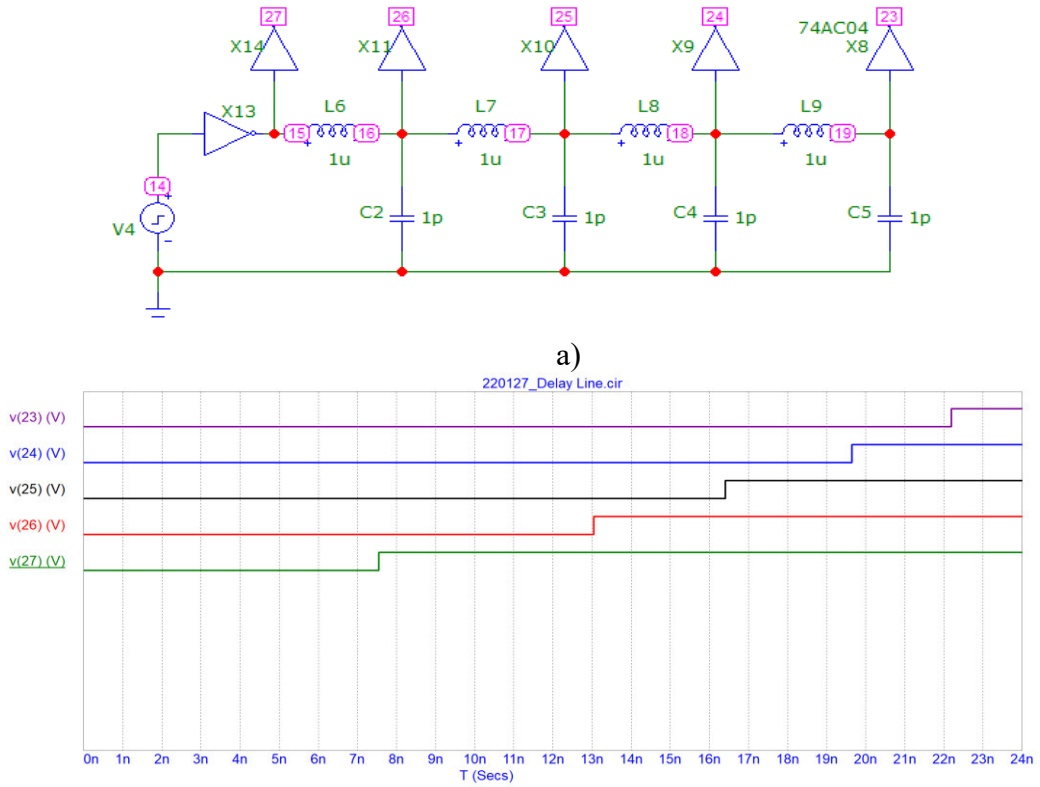


Рис. 4. ЛЗ на основе 4-х LC звеньев, а) и временные диаграммы ее работы, б)

Возможен еще один подход к управлению временной задержкой – изменение одного из параметров ЛЗ на сосредоточенных элементах, либо индуктивности, либо емкости (с помощью варикапов). Второй путь значительно проще. На рис. 5,а показана схема управления элементарной задержкой с помощью варикапа в RC линии, а на рис.5,б – в LC линии.

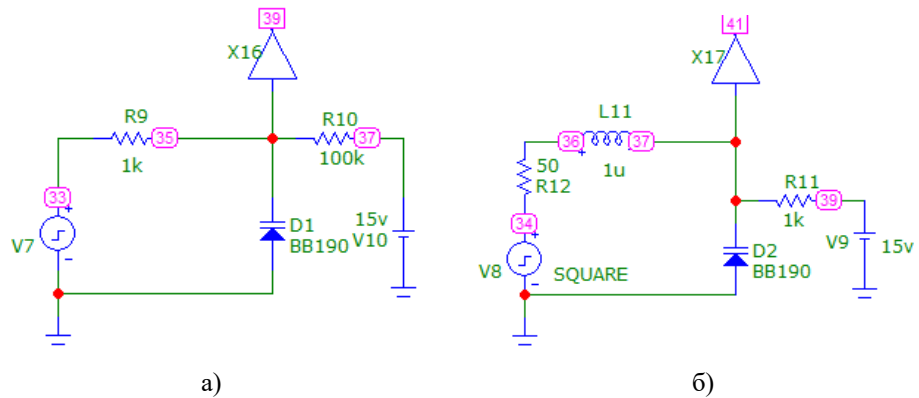
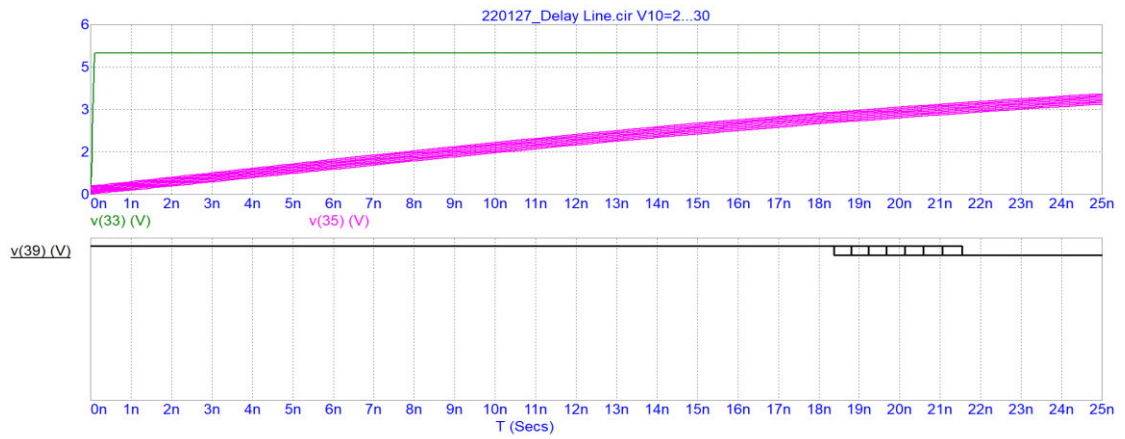


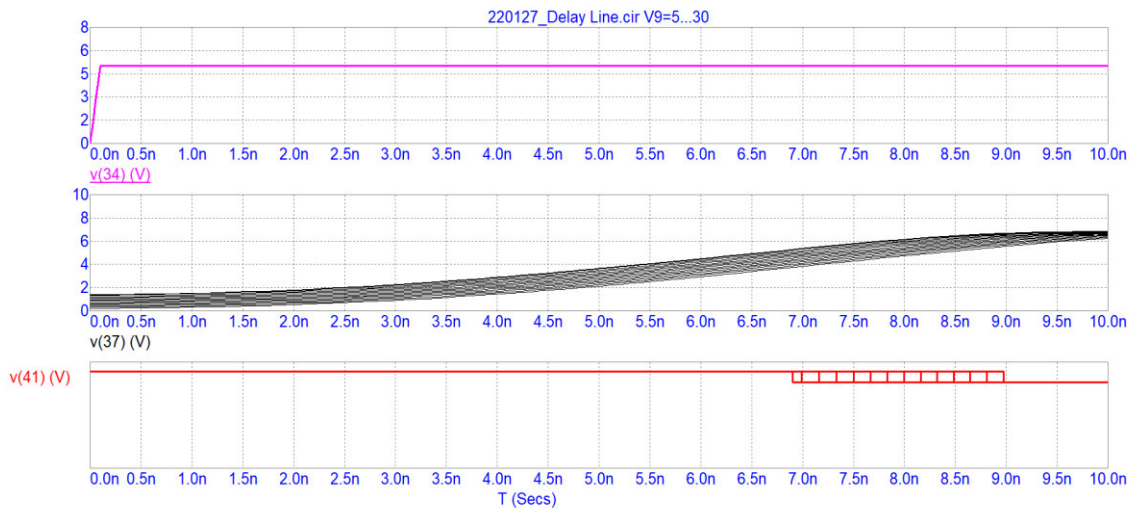
Рис.5. Модель управления элементарной задержкой с помощью варикапа в RC линии, а) в LC линии, б)

На рис. 6,а показаны временные диаграммы в RC линии с варикапом, а на рис.6,б – временные диаграммы в LC линии с варикапом при подаче разного управляющего напряжения.

Следует, однако, учесть, что подача управляющего напряжения на варикап усложняет съем задержанного сигнала с выхода ЛЗ вследствие возможных «завязок» по постоянному току. При этом квант задержки может быть сделан достаточно малым при достаточно хорошей линейности.



а)



б)

Рис.6. Временные диаграммы в  $RC$  линии с варикапом, а) и временные диаграммы в  $LC$  линии с варикапом, б)

Другой, простой и очевидный подход к управлению задержкой логических перепадов – коммутация соединенных последовательно элементов задержки  $\tau$ ,  $2\tau$ ,  $4\tau$ ,  $8\tau$ , ...[2]. В этом случае к ключам тока (напряжения) также предъявляют жесткие требования по величине задержки включения и выключения, и по величине сопротивления в открытом и закрытом состоянии, стабильности параметров в диапазоне температур.

Однако, реализация схемы с помощью твердотельной технологии позволяет существенно ослабить указанные противоречивые требования. Такой подход реализован в микросхеме *MC10EP195* (*MC100EP195*) компании *Motorola*.

На рис. 7 приведена схема цифровой реализации коммутируемой УУЗ на этой микросхеме. Задержку можно изменять в широком диапазоне времен – от постоянной задержки переключения (около 2,5 нс) +10 пс до постоянной задержки переключения плюс 10240 пс с шагом 10 пс при 10-битовом управляющем слове. Тактовая (входная/выходная) частота может достигать 1200МГц.



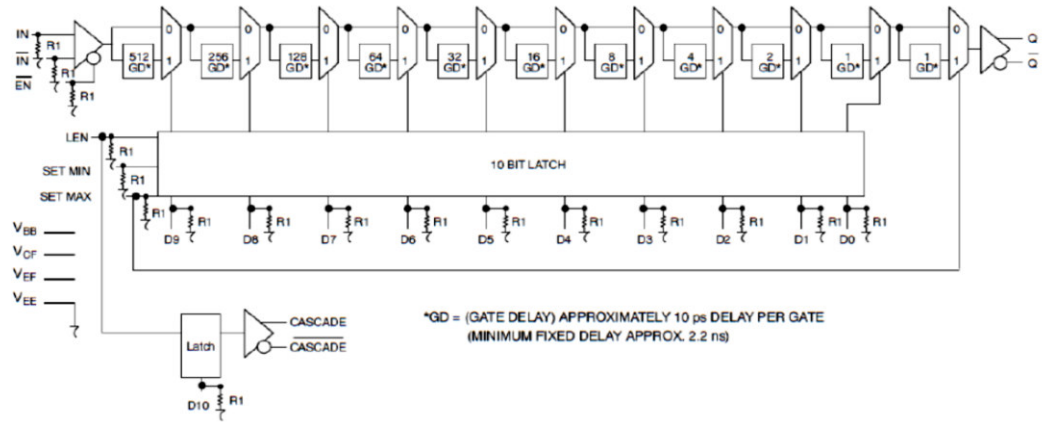


Рис. 7. Структурная схема управляемой задержки на микросхеме *MC10EP195*

Пожалуй, самой «скоростной» коммутируемой ЛЗ в настоящее время является микросхема *HMC856*, которая позволяет управлять задержкой цифровых потоков типа *MECL*, следующих со скоростью до  $28\text{Gbps}$ . Шаг дискретизации 20 пс по фронту импульса и 18пс по его спаду, количество градаций 32. На рис. 9 приведена структура микросхемы *HMC856* с обозначением выводов.

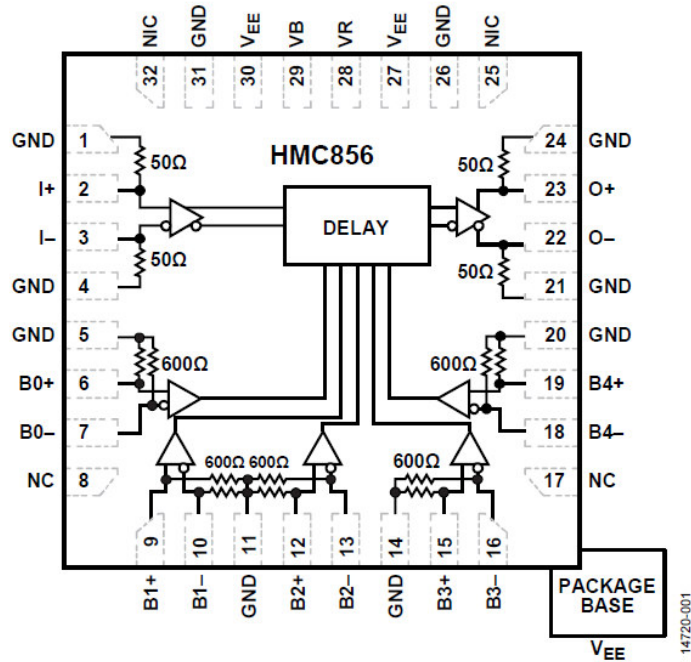


Рис.9. Структура микросхемы *HMC856* с обозначением ее выводов

Коммутируемые устройства задержки используют для выравнивания запаздывания управляющих сигналов в параллельных скоростных интерфейсах, но в технике синтеза частот они не нашли широкого применения.

Список используемых источников:

1. *Никитин, Ю. А.* Цифроаналоговый синтез частот. Теория и схемотехника: [монография] / Ю. А. Никитин. – СПб.: Изд-во СПб ГУТ, 2018. – 367 с.
2. *Мовшевич, Б. З.* Программируемая задержка наносекундного диапазона // Приборы и техника эксперимента. – 1980. № 2.
3. *Никитин, Ю. А.* Влияние нелинейности модифицированного конечного автомата на временную нестабильность формируемого колебания / Известия вузов. Приборостроение. 1991. №5, с.28-33.

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОТОКОЛА ПЕРЕДАЧИ МЕДИАПОТОКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

Академия Федеральной Службы Охраны Российской Федерации

Ключевые слова: система связи, передача данных, информационное пространство, качество услуг связи.

В статье приведен материал, который говорит о том, что исходя из современной системы управления вооруженными силами Российской Федерации, прослеживается то, что для передачи сигналов VoIP используются различные протоколы и стандарты, которые позволяют взаимодействовать абонентам, системам и специализированным установкам между собой.

**V.M. Chistyakov, S.A. Magomedov**

## **JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF A MEDIA STREAM TRANSMISSION PROTOCOL TO IMPROVE THE QUALITY OF INFORMATION TRANSMISSION**

Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation

Keywords: communication system, data transmission, information space, quality of communication services.

The article contains material that suggests that based on the modern control system of the armed forces of the Russian Federation, it can be traced that various protocols and standards are used to transmit VoIP signals that allow subscribers, systems and specialized installations to interact with each other.

Наиболее распространенным протоколом передачи сигналов VoIP является H323. Он был разработан Сектором стандартизации ITU-Telecom (ITU-T). Хотя его можно использовать для голосовых разговоров, сегодня он чаще всего применяется в оборудовании для видеоконференцсвязи и использует стандарт Q.931, который определяет устаревшие схемы ISDN, а также адаптирован для работы по IP-сетям.

H.323 правильнее называть системной спецификацией или стандартом, который включает в себя различные протоколы, предоставляющие множество услуг. Среди протоколов такие, как:

H.225. Сигнализация вызова – это основной протокол сигнализации в наборе H.323. По сути, это аналог SIP [1].

Протокол управления H.245. Этот протокол описывает сообщения и процедуры, используемые для обмена информацией о возможностях между терминалами, а также открывает и закрывает логические каналы для передачи голоса и видео.

RTP и RTCP. H.323 использует эти протоколы для передачи самих носителей, а также для получения статистики и управляющей информации во многом таким же образом, как они работают с SIP.

H.225 – регистрация, допуск и статус (RAS). Эта функция уникальна для H.323 тем, что у нее нет аналога в среде SIP. Там, где SIP имеет плоскую архитектуру, протокол H.225 RAS обеспечивает иерархическую структуру для передачи сигналов вызова. Это особенно полезно предприятиям, для которых необходимо обеспечить централизованную и взаимосвязанную телефонную сеть [1].

RAS используется между терминалом H.323 и привратником, и чаще всего используется на терминалах H.323, которые функционируют как шлюзы.

Если каждое местоположение использует голосовой шлюз H.323 для подключения к централизованной сети, такой как корпоративная глобальная сеть и/или ТСОП, то для маршрутизации вызовов план нумерации всех других местоположений должен быть зарегистрирован в каждом голосовом шлюзе.

В архитектуре H.323 голосовым шлюзам необходимо знать только местоположение привратника H.323 – устройства в сети, содержащего сводный план нумерации. Когда поступает вызов, шлюзы запрашивают у привратника IP-адрес шлюза, который обслуживает желаемый номер назначения. Привратник ответит этой информацией, позволяя завершить вызов.

При таком расположении администраторам нужно только постоянно обновлять информацию привратника, что значительно упрощает процесс. Дополнительные услуги также могут быть включены при этих вызовах. Например, привратник не только информирует шлюз о том, как добраться до определенного пункта назначения, но также может использовать управление доступом, разрешая или запрещая такой вызов [2].

Функция привратника часто описывается как аналогичная функции DNS-сервера, который предоставляет IP-адреса для определенных доменных имен.

При всех достоинствах стандарта H.323 при его использовании возникают значительные сложности. Во-первых, данный стандарт не слишком хорошо подходит для использования других мультимедийных услуг, кроме IP-телефонии, для которой он прекрасно оптимизирован. Во-вторых, сессия описывается в специальном формате, а это может значительно усложнить адаптацию протокола с учетом новых приложений. Именно из-за этого в IP-телефонии существуют те же проблемы, что и в TDM-телефонии, а именно несовместимость и трудность в интеграции с приложениями в компьютерной сети.

Когда речь заходит о VoIP, наиболее известным и широко используемым является протокол инициации сеанса (SIP – Session Initialization Protocol). Но SIP работает не в одиночку. Существует множество других протоколов, используемых в IP-телефонии, которые функционируют наряду с SIP или даже вместо него [2].

SIP – это протокол, используемый как голосовыми, так и видео терминалами для обеспечения настройки вызова, сигнализации и отключения вызова для сеансов связи. Терминал VoIP может быть физическим IP-телефоном, программным телефоном, терминалом видеоконференцсвязи, голосовым шлюзом – по сути, любым устройством, способным обеспечивать голосовую и/или видеосвязь. Все эти терминалы регистрируются на SIP-сервере, также известном как IP-АТС, который используется для координации дополнительных функций, таких как передача вызова, удержание, воспроизведение музыки на удержании и другие традиционные и расширенные функции телефонии.

Однако SIP не передает сам голос или видео. Вместо этого он работает в сочетании с несколькими другими протоколами, которые обеспечивают сеанс связи. Эти протоколы передачи находятся поверх транспортного уровня. Это означает, что SIP не зависит от протоколов, используемых на более низких уровнях, поэтому он может работать с любым протоколом транспортного уровня. Обычно используется протокол UDP, хотя, если передача сообщений SIP защищена с использованием протокола безопасности транспортного уровня (TLS), то для передачи сигналов SIP используется протокол TCP [3].

Протокол описания сеанса (SDP). В то время как SIP используется для терминалов VoIP для обмена сигнальной информацией, SDP используется для описания мультимедийных сеансов. В частности, он позволяет терминалам согласовывать тип сессии, формат и все связанные с ней свойства. SDP не переносит саму сессию и не передается по какому-либо протоколу транспортного уровня. Скорее всего, он включен в качестве полезной нагрузки самих сообщений SIP.

Транспортный протокол реального времени (RTP). RTP передает фактические медиапотоки, будь то голос, видео или и то, и другое. В то время как SIP устанавливает соединения по сети, RTP передает фактические голосовые пакеты по подготовленным соединениям. Имейте в виду, что в отличие от SDP, который является полезной нагрузкой SIP, сеансы RTP выполняются независимо и параллельно сеансам SIP и управляются через эти

сеансы SIP и SDP. RTP обычно работает поверх UDP и всегда функционирует совместно с RTCP [3].

Протокол управления RTP (RTCP). RTCP собирает внеполосную статистику и управляющую информацию для сеансов RTP. Внеполосный означает, что обмен этой информацией происходит в отдельном параллельном сеансе, а не в рамках медиапотока RTP. Целью RTCP является предоставление обратной связи о качестве обслуживания (QoS), включая статистические данные, такие как количество пакетов, потеря пакетов, дрожание и время задержки в оба конца. Эта информация передается между терминалами, которые могут реагировать на эти изменения, ограничивая потоки пакетов или переключаясь на другой доступный кодек. Можно отслеживать такую информацию, как кодек, задержку, джиттер задержки, полосу пропускания, принятые пакеты и потерянные пакеты. Все эти данные собираются с использованием протокола RTCP. Как и большинство других протоколов VoIP, RTCP также работает с UDP в качестве протокола транспортного уровня.

Протокол управления передачей / Протокол пользовательских дейтаграмм (TCP/UDP). Все сопутствующие протоколы используют UDP в качестве базового протокола транспортного уровня. UDP имеет гораздо меньшие накладные расходы, чем TCP, поскольку в нем нет механизмов управления потоком, проверки ошибок или упорядочения пакетов, и поэтому он больше подходит для транспортировки. Постоянный поток данных гораздо важнее, чем правильное упорядочение пакетов или идеальное прибытие пакетов. Половина потерянного слога или неправильный пиксель в одном кадре не имеют никакого значения при голосовой или видеосвязи. Вот почему, если TCP когда-либо и используется, то только для протоколов сигнализации и лишь очень редко для протоколов передачи мультимедиа, таких как RTP. Вместо этого сессия будет передаваться по протоколу UDP, даже если для передачи сигнальных пакетов используется протокол TCP [4].

На рисунке 1 представлены эти протоколы в некоторой перспективе в рамках голосового вызова VoIP между двумя терминалами.



Рисунок 1. Протоколы для передачи голосового вызова VoIP между двумя терминалами.

Благодаря своей феноменальной гибкости и ценной функциональности SIP является наиболее широко используемым протоколом VoIP-сигнализации для голосовой и видеосвязи. Тем не менее, он функционирует не в одиночку [4]. Знание и понимание сопутствующих протоколов имеет важное значение для многих аспектов управления сетью, таких как устранение неполадок, оптимизация сети и другие. Однако, H.323 также полезно использовать, когда требуется взаимодействие между системами или для специализированных установок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лящук М. З., Ткачев Д. Ф. Проактивный алгоритм динамической маршрутизации в мобильных распределенных перспективных сетях // *Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире*. 2018. № 13-1 — С. 18-24. Ткачев Д. Ф., Лящук М. З.
2. Построение локальной сети, построенной на радиосредствах нового поколения // *Молодой ученый*. 2019. № 11 (115). С. 501-505. Лящук М. З., Ткачев Д. Ф.
3. Предложение по адресованию пользователей перспективной сети радиосвязи специального назначения // 2019. Т. 10. № 5. С. 32-35. Африкантов И. Н.
4. ГОСТа 3.1109-82 «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий» // 2009. с. 12-15.

## НАДЕЖНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДОСТУПА

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)

Ключевые слова: Надежность, коэффициент готовности, работоспособность, частота отказов FIT, пассивно-оптической сети доступа.

В статье приведены данные об отказах элементах пассивно - оптической сети доступа, а также метод расчета коэффициента готовности с использованием показателя «число отказов элемента сети за  $10^9$  часов».

V.P. Shuvalov, A.N. Koridze

## RELIABILITY AND OPERABILITY OF OPTICAL ACCESS NETWORKS

Siberian state university of telecommunications and information science (SibSUTIS)

Keywords: Reliability, availability factor, operability, failure rate of FIT, passive-optical access network.

Abstract: The article presents data on failures of elements of a passive-optical access network, as well as a method for calculating the availability coefficient using the indicator "number of failures of a network element in  $10^9$  hours".

Как известно, надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных условиях применения технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Применительно к развернутой оптической пассивной сети доступа нас будут интересовать параметры, характеризующие качество услуг, предоставляемых абонентам, и определяющие степень работоспособности сети доступа. В состав сети доступа входят электронные устройства и оптоволоконная линия (ОВЛ). Параметрами ОВЛ являются – ослабление сигнала, различные виды дисперсии, коэффициент ошибок, коэффициент готовности и др. Количественные характеристики этих параметров определяют работоспособность (performability) сети доступа. В соответствии с [1] под этим термином понимается способность системы находиться в работоспособном состоянии в условиях снижения показателей, характеризующих качество обслуживания (QoS), относительно исходных значений. Показатель performability  $P(t, L)$  может быть определен как функция времени и уровень работоспособности  $L$  [2]. При этом понятие работоспособность, т.е. способность системы продолжать выполнение своих функций в условиях постепенных изменений QoS, вследствие деградации сети доступа, является условным. Так для одного пользователя границей работоспособного состояния является обеспечение коэффициента готовности  $K_g$  0,99, для другого это значение должно быть более 0,9999.

В процессе эксплуатации ОВЛ под воздействием внешних факторов, таких как нагрузка, температура, проникновение воды через оболочку кабеля и др. снижаются показатели QoS, вследствие явления, называемого деградацией. Примерами деградации являются: усталостное накопление повреждений, коррозия, появление и рост трещин в оптоволокне. Выявить наличие деградации можно, например, путем измерения наработки на отказ. Ее снижение во времени является признаком деградации ОВЛ. Можно отслеживать, используя рефлектометр, внешние воздействия (например, нагрузку) и затем вычислять, используя математические модели, степень деградации оптоволокна.

Требования к надежности элементов сети доступа должны задаваться, исходя из необходимости обеспечения технико-экономических показателей, путем решения оптимизационной задачи по минимизации затрат на развертывание сети доступа [3]. При этом следует учитывать существующие международные рекомендации: G.983.5 (01/2002), ITU-T G.989.1 (2013), G.983.1 (1998) [4,5,6], государственные стандарты ГОСТ Р 27.203-2012, ГОСТ 27.002-2015, ГОСТ Р 27.013-2019, ГОСТ 27.606-2013, ГОСТ 27.014-2019 и другие [7,8,9,10,11], а также необходимые данные для расчета надежности. Некоторые из них приведены в [12] (см. таблицу № 1). Здесь используется показатель - частота отказов FIT (Failure Impact in time), который зависит от количества длин волн на волокно –  $W$ , количества входящих волокон –  $N$ .

При этом 1 FIT соответствует одному отказу за  $10^9$  часов.

Элемент сети	Условное обозначение	Частота отказов
Мультиплексор/демультиплексор	MUX	$25 * W$
Волоконно-оптический усилитель (EDFA)	EDFA	2850
Оптический коммутатор 1	OSW 1	$21 * W * W/4$
Оптический коммутатор 2	OSW 2	$21 * 2 * 2N$
Сплиттер 1	COUP1	$25 * 2$
Сплиттер 2	COUP2	$25 * W/4$
Сплиттер 3	COUP3	$25 * (N-1)$
Настраиваемый передатчик	TTx	745
Фиксированный передатчик	FTx	186
Настраиваемый приемник	TRx	470
Фиксированный приемник	FRx	70
Цифровой коммутатор 1	DSW1	$875 * W$
Цифровой коммутатор 2	DSW2	$875 * W * N$
Волновой блокиратор	WB	$50 * W$

Таблица 1 Частота Отказов элементов сети.

Рассматриваются две различные архитектуры оптического коммутатора, а именно оптический коммутатор 1 и оптический коммутатор 2. Оптический коммутатор 1 (OSW1) представляет собой оптический мультиплексор ввода/вывода (OADM) с двумерными микро электромеханическими системами (2D-MEMS).  $W$  входящих длин волн, которые переключаются на  $M$  портов. В оптической сети, частота отказов OSW1 соответствует  $21 * W * M$ . Оптический коммутатор 2 (OSW2) основан на трехмерной микро электромеханической системой (3D-MEMS), подходящей для оптических перекрестных соединений (OXCS) с архитектурой, выбирающей длину волны. В большинстве коммерческих конструкций коммутаторов 3D-MEMS используется количество зеркал, которое в два раза превышает количество входных портов. В архитектуре с селективностью по длине волны, каждый оптический коммутатор имеет  $2N$  входных и выходных портов для обеспечения полной возможности добавления / удаления, где  $N$  - количество входящих волокон, частота отказов OSW2 равна  $21 * 2 * 2N$  FIT.

Цифровой коммутатор 1 (DSW1) может работать с непрозрачными OADM, поддерживающими  $W$  длин волн. Частота отказов для DSW1 -  $4 * 4$  задается как 3500 FIT, поэтому, предполагается, что частота отказов пропорциональна количеству входных каналов. Цифровой коммутатор 2 (DSW2) работает с непрозрачными OXCS и поддерживает  $N * W$  каналов, где  $N$  - количество входящих волокон, а  $W$  - количество длин волн на волокно. Используя тот же метод, что и выше, частота отказов для DSW2 определяется как  $875 * W * N$ .

Можно выделить три типа сплиттеров, а именно сплиттер – 1, сплиттер – 2 и сплиттер – 3. Считается, что частота отказов сплиттера пропорциональна количеству исходящих портов. Сплиттер 1 представляет собой разветвитель 1:2, поэтому частота отказов сплиттера 1 составляет  $25 * 2$  FIT. Сплиттер 2 представляет собой разветвитель 1:W/4, поэтому он имеет частоту отказов  $25 * W/4$  FIT. Частота отказов сплиттера 3, который представляет собой разветвитель 1:(N-1), может быть рассчитана аналогичным образом. Здесь  $N$  - количество входящих волокон в OXC. Частота отказов сплиттера 3 составляет  $25 * (N - 1)$  FIT.

Блокиратор длины волны не позволяют перенаправить программным путем оптический канал с одного порта на другой без применения определенных промежуточных операций, т.е. кроссовой коммутации оптических каналов. Предполагается, что частота отказов пропорциональна количеству поддерживаемых длин волн. Некоторые блокираторы длин волн также могут использоваться в качестве эквалайзеров каналов.

Используя данные таблицы 1 можно вычислить коэффициент готовности  $K_r$  для архитектуры точка-точка, между оконечными абонентскими устройствами ONT (Optical Network Terminal) и OLT (Optical Line Terminal).

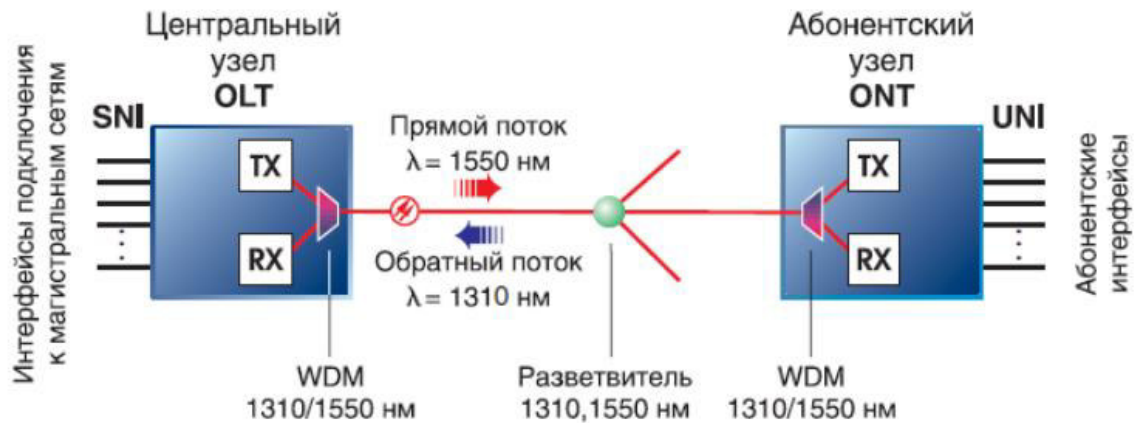


Рис. 1 Архитектура PON

Для примера возьмем сеть PON, с использованием технологии спектрального уплотнения каналов (WDM) (рисунок 1). В рассматриваемом примере последовательно подключены следующие элементы: настраиваемый передатчик, мультиплексор/демультиплексор WDM, сплиттеры, настраиваемый приемник. Для передачи прямого (исходящего) потока от OLT к ONT используется длина волны 1550 нм. Для передачи обратных (восходящих) потоков данных от абонентских узлов от ONT к OLT используется длина волны 1310 нм. Примем двухкаскадную схему деления оптического сигнала. На станционной стороне устанавливается сплиттер с коэффициентом деления 1:2. В оптическом распределительном шкафу устанавливается сплиттер с коэффициентом деления 1:32, обеспечивающий распределение оптического сигнала 32 абонентам. Для расчета коэффициента готовности ( $K_r$ ) цепочки элементов OLT-ONT используем выражение

$$K_r = 1 - K_n \quad , \quad (1)$$

где  $K_n$  - коэффициент простоя цепочки элементов OLT-ONT

Для того чтобы рассчитать коэффициент готовности ( $K_r$ ), необходимо определить коэффициент простоя каждого элемента оборудования ( $K_n$ ).

$$K_n^{(i)} = 10^{-9} \cdot FIT^{(i)} \cdot T_B^{(i)} \quad , \quad (2)$$

где  $T_B^{(i)}$  - время восстановления  $i$ -го элемента определяем, используя [13],  $FIT^{(i)}$  - частота отказов  $i$ -го элемента.

Тогда, выражение для коэффициента готовности  $i$ -го элемента, примет вид:

$$K_r^{(i)} = 1 - \left( 10^{-9} \cdot FIT^{(i)} \cdot T_B^{(i)} \right) \quad (3)$$

Коэффициент готовности цепочки элементов OLT-ONT определяется по формуле:

$$K_{\Gamma \text{ общ.}} = \prod_i K_{\Gamma}^{(i)} \quad (4)$$

Используя приведенные выше выражения, а также данные об отказах и  $T_e$  (см 12, 13), получим, что при переходе к сетям доступа большого радиуса действия, появляется необходимость в резервировании оптоволокну, и прежде всего его фидерной составляющей.

#### Список литературы:

1. B.W. Jonson (1986) Design and Analysis of Fault-Tolerant Digital Systems Addison-Wesley, ISBN 0-201-07570-9
2. J.A.B. Fortes, C.S. Raghavendra (1984), Dynamically Reconfigurable Fault-Tolerant Array Processors, pp 386-392. Proc. 12<sup>th</sup> IEEE Int. Sump. on Fault Tolerant Computing FTSC-12, Santa Monica California, June 1984
3. Yongyi Ran, Xin Zhou, Pengfeng Lin, Yonggang Wen, Ruiolong Deng, A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. XX, No. XX, Nov 2019
4. ITU-T Recommendation G.983.5 (01/2002) A broadband optical access system with enhanced survivability
5. ITU-T Recommendation G.989.1 (2013) 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements
6. ITU-T Recommendation G.983.1 (1998) Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON).
7. ГОСТ Р 27.203-2012 "Надежность в технике. Управление устареванием" (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 сентября 2012 г. N 440-ст).
8. ГОСТ Р 27.002-2015. Межгосударственный стандарт Надежность в технике Термины и определения.
9. ГОСТ Р 27.013-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Методы оценки показателей безотказности" (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 28.11.2019 N 1274-ст)
10. ГОСТ Р 27.606-2013. Национальный стандарт Российской Федерации Надежность в технике Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность.
11. ГОСТ Р 27.014-2019. Надежность в технике. Управление надежностью. Руководство по установлению требований к надежности систем.
12. Jitendra saxena, Aditya Goel (2011), Reliability and Maintainability of Passive optical component, pp. 20-24. *International Journal of Computer Trends and Technology- volume2Issue1- 2011* Department of Information Technology MANIT Bhopal India, Department of Electronics and communication, MANIT Bhopal India
13. [Jiajia Chen](#), [Lena Wosinska](#), [Carmen Mas Machuca](#), Monika Jaeger, Cost vs. Reliability Performance Study of Fiber Access Network Architectures, Article in IEEE Communications Magazine, March 2010



## СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕШАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ СЕТИ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: туманные вычисления, распределение ресурсов.

Рассмотрена структура разгрузки и алгоритм распределения ресурсов для многоуровневой сети туманных вычислений с целью минимизации общего энергопотребления нескольких мобильных устройств с учетом требований к задержке их обслуживания.

E.V. Yurchenko, N.V. Budyldina

## MIXED INTERACTION DISTRIBUTION SYSTEM FOR A MULTILAYER FOG COMPUTING NETWORK

Ural technical institute of communications and informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Keywords: fog computing, resource allocation.

The offload structure and resource allocation algorithm for a multilayer fog computing network are considered in order to minimize the total power consumption of several mobile devices, taking into account the requirements for their service delay.

Новые мобильные приложения становятся все более требовательными к вычислительным возможностям мобильных устройств, а также к задержке обработки информации [1], [2]. Тем не менее, мобильные устройства обычно ограничены в вычислительных ресурсах, времени автономной работы и сетевых подключениях. Для достижения этих требований выделили сетевую архитектуру, называемую туманными вычислениями, ключевой идеей которой является «перемещение» вычислительных ресурсов ближе к мобильным пользователям [3]. Для этого в архитектуре туманных вычислений мощные вычислительные устройства, например серверы, развертываются на границах мобильной сети для поддержки устройств с ограниченными аппаратными ресурсами.

Рассмотрим на рисунке 1 многослойную вычислительную систему тумана с  $N$  мобильными устройствами  $\mathbb{N} = \{1, \dots, N\}$ ,  $M$  кооперативных узлов тумана  $\mathbb{M} = \{1, \dots, M\}$  и облачный сервер  $V$ , к которому могут напрямую обращаться все мобильные устройства. Мобильное устройство может перенести задачу на один из узлов тумана, облако через узел тумана или непосредственно на облачный сервер  $V$ .

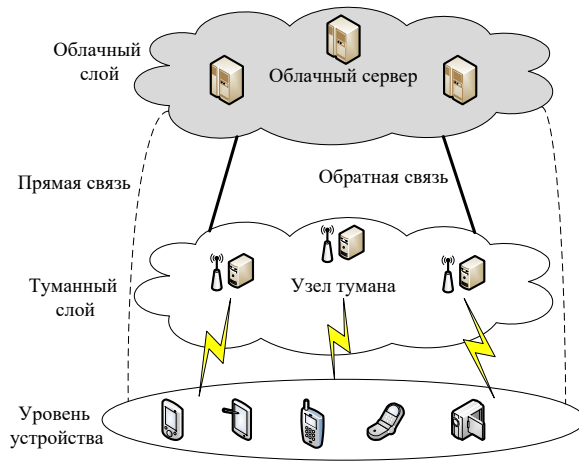


Рис. 1 Трехслойная кооперативная вычислительная сеть тумана

В каждом временном интервале мобильный пользователь  $i$  может запросить выгрузку вычислительной задачи  $I_i(D_i^i, D_i^o, C_i, t_i^r)$ , в которой  $D_i^i$  и  $D_i^o$  соответственно являются входными (включая входные данные и код выполнения) и длинами данных вывода/результата,  $C_i$  - количество циклов ЦП, необходимых для выполнения задачи, а  $t_i^r$  - максимальное требование к задержке задачи. Только мобильное устройство, туманные узлы или облачный сервер, удовлетворяющий требованию задержки, могут обрабатывать задачу.

Рассмотрим проблему совместного решения разгрузки ( $x$ ) и распределения ресурсов ( $r = \{r_{ij}\}$ ), которая направлена на минимизацию общего энергопотребления всех мобильных устройств в соответствии с требованием задержки. Проблема формально сформулирована следующим образом

$$(P_0) \min_{x,r} e^T x, \quad (1)$$

Задача оптимизации ( $P_0$ ) является NP-сложной из-за смешанного целочисленного нелинейного программирования. Отметим, что, приводя все ее двоичные переменные к действительным числам  $x_i^l, x_{ij}^f, x_{ij}^c \in [0,1], \forall (i,j) \in \mathbb{N} \times \mathbb{M}^*$ , получаемая проблема является выпуклой задачей оптимизации [4]. Выпуклость полностью расслабленной задачи поддерживается в частично расслабленных задачах, которые получаются путем фиксирования некоторых двоичных переменных (равными 0 или 1) и ослабления оставшихся.

Для решения данной задачи рассмотрим улучшенный алгоритм ветвления и связи, а именно IBVA, который эффективно решает ( $P_0$ ), используя уникальные характеристики своих двоичных переменных решения для уменьшения сложности. IBVA, имеет следующие особенности:

- Задача ветвления требует, чтобы задача могла быть выполнена только в одном месте, то есть на мобильном устройстве, на одном из узлов тумана или на облачном сервере. Таким образом, для решений разгрузки  $x_i$  задачи  $i$  существует только одна переменная, равная 1, а все остальные равны 0. Таким образом, на каждом узле в дереве поиска IBVA выбираются ветви решения задачи, образуя  $(2(M+1)+1)$ -дерево с высотой  $N$ .

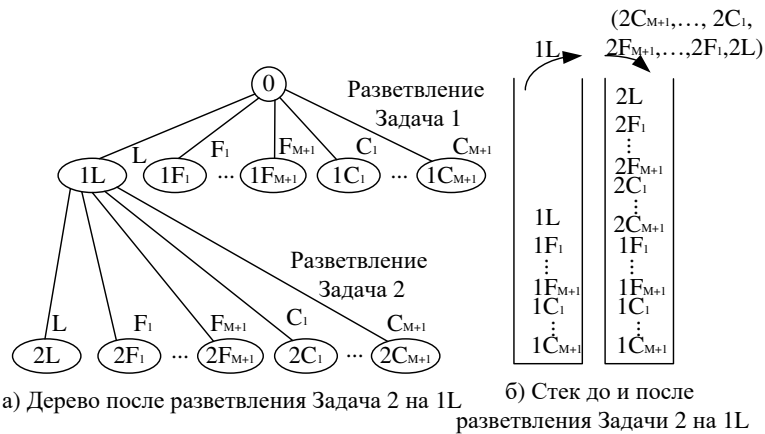
- Упрощение проблемы требует, чтобы при выполнении задачи на мобильном устройстве, узле тумана или облачном сервере всем остальным узлам тумана не требовалось выделять ресурсы для этой задачи. Таким образом, когда  $x_{ij}^f = 0$  или  $x_i^c = 0$ , можем исключить все подвыражения форм  $x_{ij}^f A$  и  $x_{ij}^c B$ , эти переменные решения и связанные переменные распределения ресурсов  $r_{ij}^u, r_{ij}^d$  и  $r_{ij}^f$  в ( $P_0$ ). Следовательно, у нас есть подзадачи, а именно (RS), с меньшим количеством переменных.

- Сохранение выпуклости диктует, что расслабленные версии подзадач (RS) являются выпуклыми задачами оптимизации. Если зафиксировать некоторые двоичные переменные в ( $P_0$ ) и установить все остальные двоичные переменные как действительные, то

соответствующие ослабленные подзадачи, также называемые частично расслабленными задачами, всегда выпуклы.

Задача совместной выгрузки и распределения ресурсов может иметь более одного оптимального решения, в котором число задач, обрабатываемых на мобильном устройстве, пограничных узлах и облачном сервере, различно. В IBVA выбор оптимального решения может быть реализован путем использования уникальной структуры проблемы совместной выгрузки и распределения ресурсов. Без потери общности, политика выбора оптимального решения, а именно LFC (L, F и C, соответственно, обозначают локальную, туманную и облачную обработку), так что окончательное решение является оптимальным. Другими словами, если проблема имеет более одного оптимального решения, то в качестве окончательного решения будет выбрано решение с большим количеством задач, обрабатываемых локально на мобильных устройствах. В противном случае, если эти оптимальные решения имеют одинаковое количество задач, обрабатываемых локально, то в качестве окончательного решения будет выбрано оптимальное решение с большим количеством задач, обработанных в узлах тумана (и т. д.). IBVA является алгоритмом на основе дерева поиска, и первое оптимальное решение при поиске возвращается в качестве окончательного решения. Задача ветвления на узле создаст список дочерних узлов, каждый из которых эквивалентен фиксированному решению разгрузки этой вычислительной задачи. Следовательно, чтобы включить политику LFC, список дочерних узлов будет посещаться в порядке принятия решений о разгрузке, то есть при обработке на мобильном устройстве, в узлах тумана и на облачном сервере.

Предположим, что вычислительные задачи выбираются для ветвления в порядке  $I_1, \dots, I_N$  и процессоры (то есть мобильное устройство, узлы тумана и облачный сервер) выбираются для обслуживания этих задач в порядке  $L, F_1, \dots, F_{(M+1)}, C_1, \dots, C_{(M+1)}$ . Здесь  $I_i$  обозначает задачу  $i$ ,  $L$  - мобильное устройство,  $F_j$  - узел  $j$  тумана, а  $C_j$  - для случая, когда узел  $j$  тумана направляет вычислительную задачу на облачный сервер. Дерево поиска в методе IBVA с этой политикой выбора оптимального решения, LFC, изображенной на рисунке 2, описывается следующим образом.



- 0: Оригинальная проблема
- xL: Подзадача, в которой задача x обрабатывается на мобильном устройстве
- xFu: подзадача, где задача x обрабатывается в узле тумана у
- xCy: подзадача, в которой задача x обрабатывается в облаке через узел тумана у

Рис. 2 Дерево поиска для IBVA с выбором оптимального решения

- Алгоритм глубокого поиска (DFS) используется для перемещения по дереву поиска IBVA, а стек используется для хранения подзадач (RS), которые генерируются во время перемещения по дереву. Здесь стек является структурой данных для добавления и удаления подзадач на одном конце, называемом вершиной стека, как на рис. 2 (б).

- Задачи выбираются для ветвления в порядке  $I_1, \dots, I_N$ . Задачи называются активными, если их решения по разгрузке не были зафиксированы в дереве поиска.

- При ветвлении задачи, т. е. принятии решения о том, где задача должна быть обработана, текущая подзадача в верхней части стека удаляется, а следующие подзадачи (RS) генерируются и помещаются в стек в порядке процессоров  $C_{(M+1)} \dots, C_1, F_{(M+1)} \dots, F_1, L$ .

На рисунке 2 (а) алгоритм поиска DFS сканирует дерево слева направо, и, таким образом, сначала будет найдено оптимальное решение для наиболее левой ветви. На рисунке 2 (б) показано состояние стека, который представляет собой структуру данных для хранения подзадач до и после обработки подзадачи 1L. Здесь подзадача 1L в верхней части стека удаляется, а последующие подзадачи генерируются и помещаются в стек. Стек подходит для алгоритма поиска DFS, так как самая левая подзадача всегда находится на вершине стека. Следовательно, окончательное решение является оптимальным с большим количеством задач, обрабатываемых на мобильном устройстве, затем на узлах тумана и на облачном сервере.

В IBVA задача ветвления определяет эффективный раздел пространства поиска, а задача упрощения исключает только те случаи, которые не могут привести к оптимальному решению. Следует отметить, что схемы выбора оптимального решения не уменьшают пространство поиска. Таким образом, оптимальность IBVA сохраняется, т. е. такая же, как при стандартном алгоритме ветвления и связи.

В этой работе рассмотрена общая схема принятия решений о разгрузке и оптимизации распределения ресурсов для многоуровневой кооперативной сети туманных вычислений. Чтобы найти оптимальное решение, был рассмотрен алгоритм IBVA-LFC (на основе ветвления и границы). Принимая во внимание, что алгоритмы IBVA-LFC с оптимальными стратегиями выбора решения могут найти оптимальное решение с большинством задач, загружаемых на узлы тумана и облачный сервер, соответственно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1 T. Soyata, R. Muraleedharan, C. Funai, M. Kwon, and W. Heinzelman, "Cloud-vision: Real-time face recognition using a mobile-cloudlet-cloud acceleration architecture," in 2012 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2012, Conference Proceedings, pp. 000 059–000 066. URL: <https://www.cs.rit.edu/~jmk/papers/cloud-vision.pdf> (дата обращения 11.04.2022)
- 2 M. Rahmani, T. N. Gia, B. Negash, A. Anzanpour, I. Azimi, M. Jiang, and P. Liljeberg, "Exploiting smart e-health gateways at the edge of healthcare internet-of-things: A fog computing approach," Future Generation Computer Systems, vol. 78, pp. 641–658, 2018. URL: [https://publik.tuwien.ac.at/files/publik\\_266893.pdf](https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_266893.pdf) (дата обращения 11.04.2022)
- 3 P. Mach and Z. Becvar, "Mobile edge computing: A survey on architecture and computation offloading," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 3, pp. 1628–1656, 2017. URL: <https://arxiv.org/pdf/1702.05309.pdf> (дата обращения 11.04.2022)
- 4 S. Boyd and L. Vandenberghe, Convex optimization. Cambridge university press, 2004. URL: [https://cims.nyu.edu/~cfgranda/pages/OBDA\\_spring16/material/convex\\_optimization.pdf](https://cims.nyu.edu/~cfgranda/pages/OBDA_spring16/material/convex_optimization.pdf) (дата обращения 11.04.2022)

## **ВИРТУАЛИЗАЦИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ КАК ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: операционные системы, виртуализация, виртуализация операционных систем.

В статье приведена аналитическая часть по необходимости изучения виртуализации операционных систем, приведено описание виртуализации, гипервизора, практических работ на виртуальных машинах с точки зрения учебного процесса.

К.М. Tupitsyn, V.A. Zatsepin

## **VIRTUALIZATION OF OPERATING SYSTEMS AS AN ADDITIONAL OPPORTUNITY IN THE EDUCATIONAL PROCESS**

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Key word: operation system, virtualization, virtualization of operating systems.

The article provides an analytical part on the need to study the virtualization of operating systems, a description of virtualization, a hypervisor, and practical work on virtual machines from the point of view of the educational process.

Главная цель высших учебных заведений – подготовка выпускников, владеющих системой знаний и обладающих способностью к решению профессиональных задач в различных ситуациях.

Достижение этой цели имеет особое место в области информационных технологий, так как именно здесь нужно не только быть в курсе инновационных трендов, но и уметь применять это всё на практике.

По данным опроса Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ) недостаток практических навыков признает большая часть выпускников российских вузов (55%) и абсолютное большинство работодателей (90%) [5].

Невысокий уровень умений имеют студенты в области изучения функциональных особенностей различных операционных систем (ОС), которые представлены в специальных дисциплинах: «Операционные системы», «Операционные системы и среды» и другие.

Данный тезис имеет объективное обоснование: студентам сложно получить навыки практической деятельности, так как выполнение лабораторных работ в компьютерном классе приводит к сбою в работе ПК, на которых имеются чётко определенные настройки установленного программного обеспечения.

Но на сегодняшний день стало возможным исправить ситуацию, когда появились новые программные решения, так называемые «Средства виртуализации», активное развитие которых наблюдается последнее десятилетие.

Виртуализация – это процесс запуска виртуального экземпляра компьютерной системы на уровне, абстрагированном от реального оборудования [1]. Чаще всего это относится к одновременному запуску нескольких операционных систем в компьютерной системе.

Гипервизор – программное обеспечение, которое создает виртуальные экземпляры компьютерной системы. Другими словами, гипервизор – процесс, который отделяет

операционную систему компьютера и приложения от базового физического оборудования, позволяя физическому хост-компьютеру управлять несколькими виртуальными машинами в качестве гостевых ОС. Примеры гипервизором – VMWare Workstation [4], Hyper-V, Parallels Desktop.

Хост – физический сервер, на котором происходит виртуализация [1].

Есть много причин, по которым люди используют виртуализацию. Для рядовых пользователей ПК, виртуализация также позволяет запускать приложения, предназначенные для другой операционной системы с целью возможного изучения этого программного продукта. Для администраторов серверов виртуализация дает возможность не только запускать разные операционные системы, но и дает возможность сегментировать большую систему на множество более мелких частей, позволяя более эффективно использовать сервер нескольким пользователям или приложениям с различными потребностями. Это также обеспечивает изоляцию, защищая программы, работающие внутри виртуальной машины, от процессов, происходящих на другой виртуальной машине на том же хосте. [2]

В рамках изучения дисциплины «Операционные системы» студенты выполняют лабораторные работы, связанные с виртуализацией операционных систем. Используемое ядро – Linux, дистрибутив выбирается на вкус и цвет, будь то Ubuntu, Linux Mint, CentOS и т.п. В качестве гипервизора предполагается работа с Oracle VM VirtualBox (рис.1).

Дистрибутив Linux – это операционная система, созданная на основе ядра Linux, которая включает в себя набор библиотек и утилит (пакетов), разработанных в рамках проекта GNU, а также систему управления пакетами (менеджер пакетов). В настоящее время существует более 500 различных дистрибутивов, разрабатываемых как при коммерческой поддержке (Red Hat / Fedora, SLED / OpenSUSE, Ubuntu и др.), так и исключительно усилиями добровольцев (Debian, Slackware, Gentoo, ArchLinux и др.).

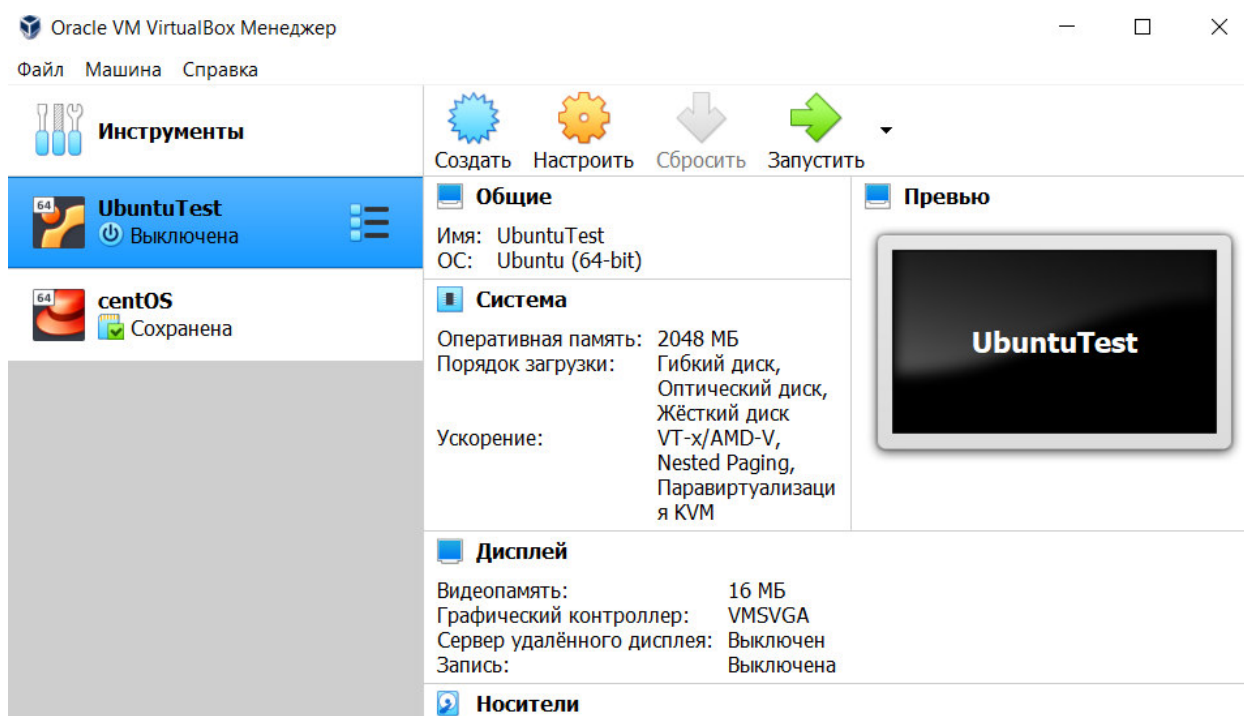


Рис.1 – Интерфейс Oracle VM VirtualBox

Для чего же студенты работают с виртуальными машинами? Всё просто. В современном мире ИТ-инфраструктуры мало кто использует ОС Windows, большая часть всё-таки сидит на ОС семейства Linux.

Студенты по мере выполнения лабораторных работ знакомятся с терминалом, со структурой папок/файлов внутри ОС, получают опыт работы с сетевым протоколом SSH, занимаются пробросом портов – это необходимо для тестирования выполненных работ под виртуальной машиной на основной операционной системе. Кроме того, студенты получают

практические навыки при работе с контейнеризацией с помощью Docker, настраивают FTP-сервер, веб-сервер NGINX, шифруют данные с помощью программного ПО GnuPG (GPG).

Без знаний альтернативных операционных систем в текущее время никуда. Даже попав в ИТ-компанию, выпускники будут встречать на своем пути ОС на базе ядра Linux, которая даже возможно используется как основная из-за своих внутренних особенностей, в том числе – безопасность.

#### Список литературы:

- 1 Основы виртуализации [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/657677/>
- 2 What is virtualization? [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://opensource.com/resources/virtualization>
- 3 Гипервизоры. Что же это и как работает виртуальный сервер? [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://habr.com/ru/company/vps\\_house/blog/349788/](https://habr.com/ru/company/vps_house/blog/349788/)
- 4 Oracle VM VirtualBox [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.virtualbox.org>
- 5 Высшее образование: контроль не ослаблять, качество повышать [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/vysshee-obrazovanie-kontrol-ne-oslablyat-kachestvo-povyshat>

### БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)

<sup>2</sup>АНОО ВО Центросоюза РФ «Сибирский университет потребительской кооперации»

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, датчик, сенсорный узел, стандарт IEEE 802.15.4-2005, ZigBee, беспроводной канал, зона покрытия сети.

В настоящее время большой интерес возник к различным беспроводным системам мониторинга удаленных и опасных объектов инфраструктуры обслуживания жизнедеятельности человека. Беспроводная сетевая коммуникация с датчиками становится легко реализуемой благодаря доступности технологий Wi-Fi, IEEE 802.15.4-2005, технология ZigBee, Bluetooth, 6LoWPAN, GPRS и GPS. В данной статье описан принцип работы беспроводных сенсорных сетей. Перечислены основные сложности при разработке такой сети. Также приведены основные стандарты для БСС.

А.Е. Anikeeva<sup>1</sup>, М.Е. Anikeeva<sup>2</sup>

### WIRELESS SENSOR NETWORKS

<sup>1</sup>FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" (SibGUTI)

<sup>2</sup>ANOO IN the Centrosoyuz of the Russian Federation "Siberian University of Consumer Cooperation"

Keywords: wireless sensor network, sensor, sensor node, IEEE 802.15.4-2005 standard, ZigBee, wireless channel, network coverage area.

Currently, great interest has arisen in various wireless monitoring systems for remote and dangerous infrastructure facilities for the maintenance of human life. Wireless network communication with sensors becomes easy to implement thanks to the availability of Wi-Fi, IEEE 802.15.4-2005, technology ZigBee, Bluetooth, 6LoWPAN, GPRS and GPS technologies. This article describes the principle of operation of wireless sensor networks. The main difficulties in the development of such a network are listed. The main standards for the BSS are also given.

#### *1 Введение*

Беспроводные сенсорные сети (БСС) в настоящее время вошли во все сферы жизни человека. Поэтому всё чаще встает философский вопрос: «Как человек раньше мог обходиться без таких необходимых вещей?». Но если заглянуть не в столь далекое будущее, то становится ясно, что развитие БСС будет продолжаться ещё и ещё шире. Отрасли применения этой технологии весьма обширен и это ещё не предел. С помощью беспроводных сенсорных сетей могут измерять такие параметры, как температуру, звук, вибрации, давление, движение объектов или воздуха, электрические и магнитные параметры объектов и живых организмов. Если рассматривать историческое появление и развитие БСС, то изначально это было мотивированно военными задачами, например наблюдением за полем боя. Сейчас же они применяются в огромном спектре приложений: домашняя и промышленная автоматизация, контроль микроклимата, охранно-пожарные системы, учет и оптимизация потребления водоэнергоресурсов и т. д.

Беспроводная сенсорная сеть (БСС, с английского Wireless Sensor Network – WSN) – это распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров, мотов – от англ.



"mote" – пылинки, названных так из-за тенденции к миниатюризации) и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала [1]. Беспроводные сенсорные сети строятся из узлов, называемых *моты* (*mote*) — небольших автономных устройств с питанием от батарей и микрочипами с радиосвязью на частоте — например 2,4 ГГц. Специальное программное обеспечение позволяет мотам само организовываться в распределенные сети, связываться друг с другом, опрашивать и обмениваться данными с ближайшими узлами, расстояние до которых обычно не превышает 100 метров. Сенсорные сети представляют собой распределенное в пространстве множество датчиков и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала.

## 2 Особенности применения беспроводной сенсорной сети

Рассмотрим принцип работы БСС. Область покрытия радиоканала беспроводной сенсорной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счет способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому. В состав мотов обычно входят автономные микрокомпьютеры (контроллеры) с питанием от батарей и приемопередатчики, что позволяет мотам самоорганизовываться в специализированные сети, связываясь друг с другом и обмениваясь данными посредством радиосвязи. Возможно использование батарей солнечного освещения или других альтернативных источников энергии. В этом случае, моты выступают как компоненты беспроводных сенсорных сетей.

Данные от отдельных узлов передаются по сети от узла к узлу на шлюз, и обычно оказываются на «супер-узле», или сервере, имеющем более высокую вычислительную мощность.

В итоге с ближайшего мота пакет с данными передается на шлюз. Шлюз соединен, как правило, USB кабелем с сервером. На сервере — собранные данные обрабатываются, хранятся и могут быть доступны через WEB оболочку широкому числу пользователей.

В зависимости от компонентной базы и сложности реализации WSN стоимость беспроводной сенсорной сети и сенсорного узла меняется от сотни долларов до нескольких центов.

Применение БСС целесообразно, прежде всего, там, где использование традиционных проводных технологий создает трудности для подключения сенсорных узлов. Перечень проблемных ситуаций включает:

- 1) Необходимость размещения датчиков в труднодоступных для человека местах.
- 2) Наличие удаленных или географически распределенных датчиков, расстояния до которых от центрального процессора или логгера/ маршрутизатора являются значительными (десятки и сотни метров или километры).
- 3) Размещение проводов нарушает нормальную работу машин и сооружений.
- 4) Присутствие в электронике, носимой человеком, в особенности — имплантируемых датчиков.
- 5) Среда, в которой должен работать датчик, исключает или усложняет электрическое подключение посредством проводов (вода, экстремальные температуры и т. п.).
- 6) Сетевые мультисенсорные узлы безальтернативно требуют взаимодействия между собой и избыточного числа сигнальных проводов (в дополнение к проводам питания).
- 7) Провода значительной протяженности создают помехи для прохождения сигнала плюс помехи по цепям питания.
- 8) Применение проводов ограничено форм-фактором датчика.
- 9) Системная цена/стоимость проводов ограничена [2].

Все эти ситуации подводят к тому, чтобы рассматривать альтернативные возможности применения беспроводных методов подключения датчика.

Чтобы сенсорная сеть могла именоваться беспроводной (Wireless Sensor Network, WSN), а соответственно, также и узел, необходимо выполнение важнейшего условия осуществления беспроводным способом сигнальной коммуникации с системным ресивером или базовой станцией. В беспроводной сети WSN-датчик должен иметь возможность питания от близко расположенного источника.

В зависимости от ситуации и используемого протокола возможна организация сетевой сенсорной коммуникации в лицензированной или нелицензированной частотной полосе и развертывание не только «звездной», но и самоорганизующейся ad-hoc сети любого масштаба, дающей возможность подключения к ней мобильных узлов. Сеть ad-hoc по определению характеризуется отсутствием централизованных точек доступа и возможностью узлового взаимодействия между собой. Это используется как для множественной передачи пакетов данных (multi-hop), так и для реализации дистанционного пользовательского интерфейса с узлами через веб-сервер. Для достижения полной классификационной принадлежности к беспроводным устройствам питание датчика также должно быть беспроводным. Беспроводное питание возможно за счет применения одного из следующих методов:

- батарейное питание;
- питание от энергии радиочастотного сигнала опроса;
- использование интегрированных источников энергии — генераторов;
- применение технологий адаптивного сбора энергии (Energy Harvesting).

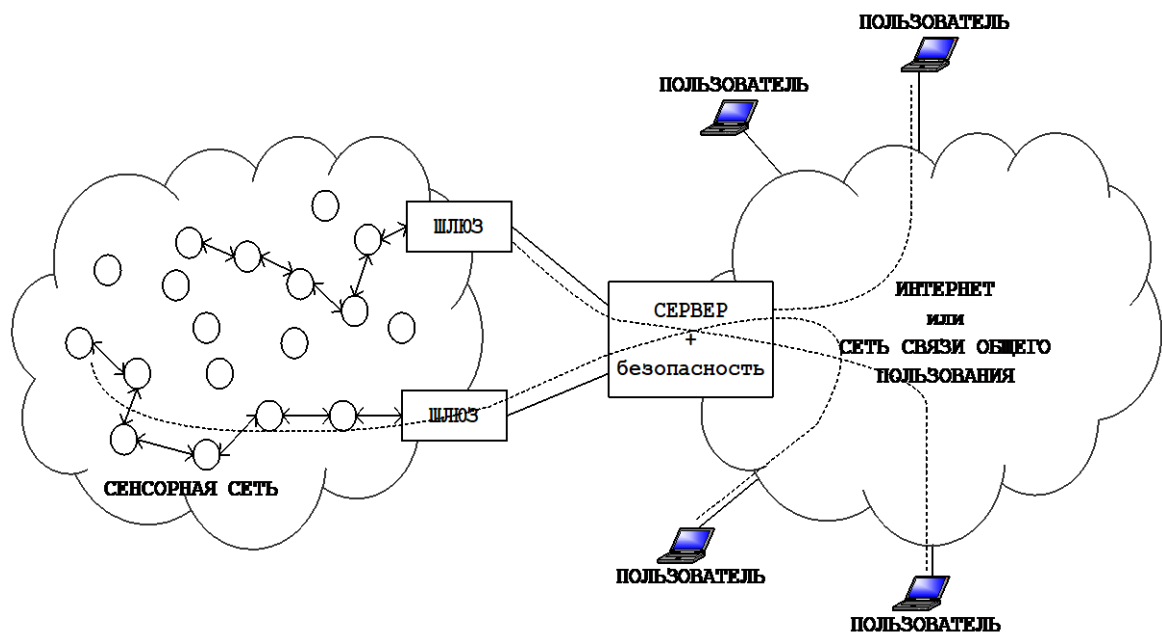


Рис. 1. Пример архитектуры беспроводной сенсорной сети

Пространство, которое покрывается сенсорной сетью, называют сенсорным полем. Параметры узлов сети, в зависимости от назначения сети, могут варьироваться. При проектировании того или иного вида сети необходимо учитывать возможности узлов: энергоэффективность, вычислительные способности, возможность автономной работы и т. п. Самоорганизующаяся беспроводная сеть, в частности БСС, может быть образована некоторым множеством узлов, каждый из которых находится в зоне доступности хотя бы одного узла из этого множества, и каждый из узлов имеет возможность отправки данных узлу назначения, которым может быть шлюз или любой другой узел сети [3].

### 3 Стандарты беспроводных сенсорных сетей

Сети могут быть гомогенными или гетерогенными в зависимости от типа узлов, из которых они строятся. В общем случае, в гетерогенной сети все или часть узлов сети могут быть подвижными, иметь различные скоростные характеристики, стандарты связи физического и канального уровней.

Для организации связи между узлами в беспроводных сенсорных сетях был разработан стандарт IEEE 802.15.4. К этому стандарту относится технология ZigBee, позволяющая создавать самоорганизующиеся и самовосстанавливающиеся беспроводные сети с автоматической ретрансляцией сообщений, с поддержкой батарейных и мобильных узлов. Сети ZigBee при относительно небольших скоростях передачи данных обеспечивают гарантированную доставку пакетов и защиту передаваемой информации. Стандарт ZigBee

предусматривает частотные каналы в диапазонах 868 МГц, 915 МГц и 2,4 ГГц. Наибольшие скорости передачи данных и наивысшая помехоустойчивость достигаются в диапазоне 2,4 ГГц. Скорость передачи данных вместе со служебной информацией в эфире составляет 250 кбит/с. При этом средняя пропускная способность узла для полезных данных в зависимости от загруженности сети и количества ретрансляций может лежать в пределах 5 ... 40 кбит/с. Расстояния между узлами сети составляют десятки метров при работе внутри помещения и сотни метров на открытом пространстве. За счет ретрансляций зона покрытия сети может значительно увеличиваться.

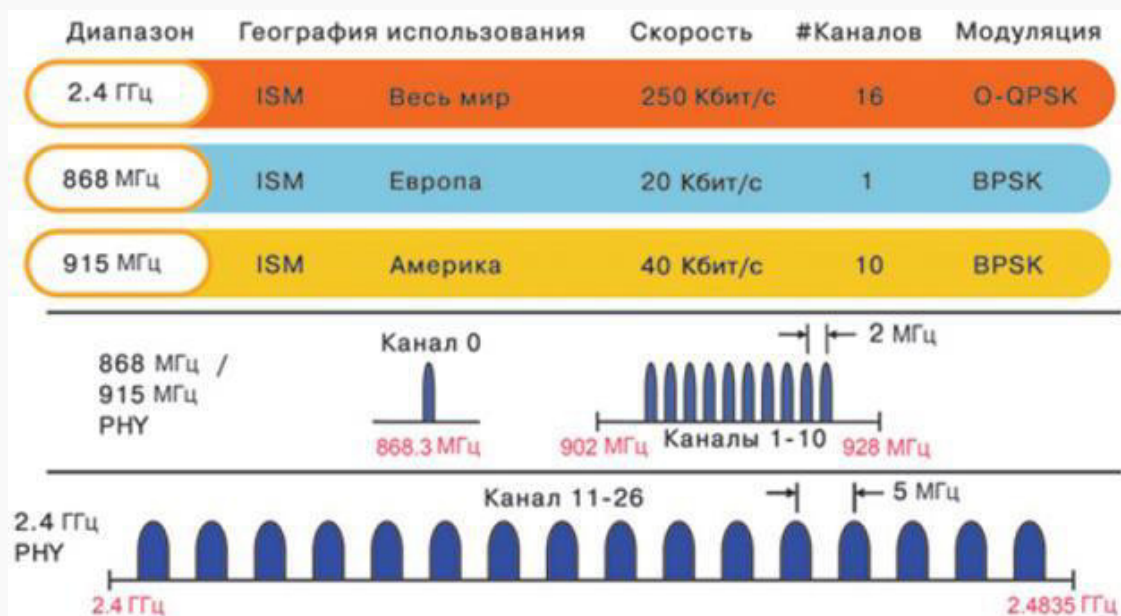


Рис. 2. Характеристика стандарта IEEE 802.15.4

В основе сети ZigBee лежит ячеистая топология (mesh-топология). В такой сети, каждое устройство может связываться с любым другим устройством как напрямую, так и через промежуточные узлы сети. Ячеистая топология предлагает альтернативные варианты выбора маршрута между узлами. Если говорить о ZigBee, то для этой технологии уже предусмотрены программно-аппаратные средства в виде AES-криптозащиты. Сообщения поступают от узла к узлу, пока не достигнут конечного получателя. Возможны различные пути прохождения сообщений, что повышает доступность сети в случае выхода из строя того или иного звена. В ее архитектуре помимо возможностей подключения датчиков предусмотрено наличие центрального узла управления (в виде точки доступа с возможностью для подключения стационарного ПК или переносного компьютера, выполняющего функции управления и обработки информации). В настоящее время технология ZigBee, разработанная непосредственно для беспроводных сенсорных сетей, является, по сути, единственной технологией, с помощью которой можно решить любые задачи мониторинга и контроля, которые в т. ч. критичны ко времени отклика от датчиков.

Исключением из стандарта можно считать технологию Bluetooth, описываемую стандартом IEEE 802.15.1. 17 Беспроводная сеть Bluetooth в классическом понимании – это беспроводная одноранговая динамическая сеть с переменным количеством мобильных узлов с децентрализованным управлением, которая может быть развернута в ограниченном пространстве (с количеством узлов до 80). Радиосвязь Bluetooth осуществляется в безлицензионном ISM-диапазоне (2,4...2,4835 ГГц) со скоростями 1 Мбит/с (версия 1.2); 3 Мбит/с (версия 2.0); 24 Мбит/с (версия 3.0). Для Bluetooth характерно стихийное создание мобильной сети массового пользователя, когда практически любой человек, владея таким радиоинтерфейсом, может к ней без труда подключиться, если, конечно, не решена политика безопасности от несанкционированного доступа. Это становится первостепенной задачей при использовании технологии Bluetooth для беспроводной сенсорной сети.

Wi-Fi технология позволяет строить беспроводные самоорганизующиеся сети инфраструктурного типа, т. е. создавать многоточечную топологию с беспроводной точкой доступа для подключения мобильных абонентов. Однако такая топология, скорее, является одним из недостатков, если рассматривать ее как вариант самоорганизующейся сети – выход из строя базовой станции (точки 18 доступа) приводит к падению мобильной радиосети в целом. В сетях Wi-Fi используются несколько модификаций стандарта 802.11. Стандарт 802.11a предусматривает передачу данных на частоте 5 ГГц со скоростью до 54 Мбит/сек [110]. Основным преимуществом технологии являются простота принципов построения и настроек мобильного абонента под беспроводную сеть, но при этом Wi-Fi существенно «проигрывает» ZigBee по мобильности и энергопотреблению. Сравнительный анализ технологий организации связи узлов БСС приведен в таблице 1. Свойства сети зависят от многих факторов, таких как характеристики зоны (области) обслуживания, количества и распределения узлов на плоскости или в пространстве, их параметров и других [4]. Реальная сеть может состоять из огромного количества узлов, для взаимодействия которых и обеспечения передачи данных используется кластеризация сети. Кластерная организация является эффективной и масштабируемой для функционирования USN [96], но лишь при условии рационального выбора головного узла в кластерной сети конкретный момент времени [5]. Ряд стандартов в настоящее время либо ратифицирован или находятся в стадии разработки для беспроводных сенсорных сетей.

Протокол DigiMesh является решением компании *Digi* для приемопередатчиков XBee и XBee-PRO, работающих на частотах 2.4 ГГц, 900 МГц и 868 МГц. Особенностью протокола DigiMesh [4] является возможность построения mesh-сети со спящими маршрутизаторами. В сети DigiMesh нет координатора с выделенной ролью — каждый из узлов сети может взять его функции на себя. Возможность режима спящих маршрутизаторов в DigiMesh позволяет всем узлам в сети синхронизировать время работы и сна. Все синхронизированные узлы входят и выходят из режима низкого энергопотребления в одно и то же время. Так формируется циклически засыпающая сеть. Узлы синхронизируются путем получения специального RF-пакета (сообщения синхронизации), который отправляется узлом, играющим роль координатора сна. Узел сети может стать координатором сна, пройдя через процесс, называемый процессом номинирования. Координатор сна отправляет одно сообщение синхронизации в начале каждого периода работы сенсорной сети периодического сбора информации. Сообщение синхронизации отправляется путем широкоэвещательной рассылки. Время работы и сна всей сети в целом могут быть изменены локальными изменениями настроек на отдельных узлах сети [4].

С практической точки зрения применение модулей XBee серии 868LP для построения DigiMesh сети позволяет на выделенных ГКРЧ частотных участках диапазона 868 МГц при максимально разрешенной изотропно излучаемой мощности 25 мВт получить дальность связи 4 км на открытом пространстве и до 150 метров внутри помещений между двумя узлами БСС.

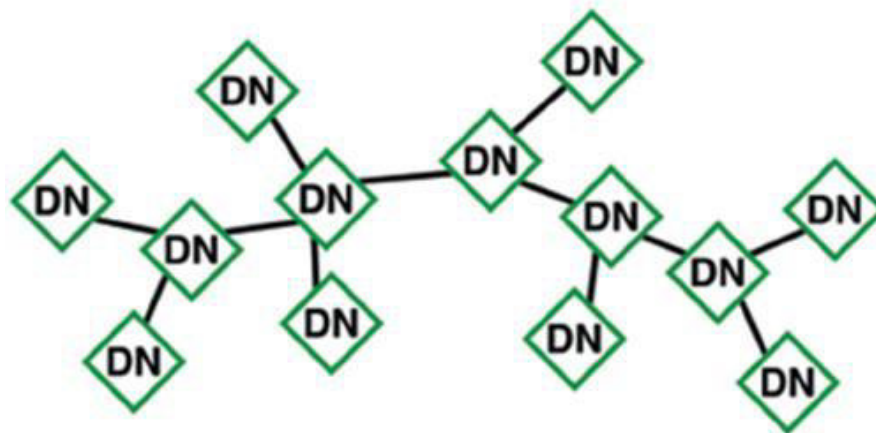


Рис. 3. Пример DigiMesh сети.

Модули DigiMesh используют широкополосную модуляцию с прямым расширением спектра и работают на одном фиксированном канале, устанавливаемом с помощью команды CH.

Протокол DigiMesh использует протокол динамической маршрутизации, основанный на AODV [5]. Далее идет выжимка по протоколу DigiMesh из официальной документации.

Z-Wave – это беспроводной протокол компании Zensys (в настоящее время принадлежащей компании Sigma Designs), ориентированный на рынок автоматизации жилого сектора. В начале 2012 протокол Z-Wave стал открытым международным стандартом (МСЭ разработал стандарт ITU-T G.9959 обратно совместимый с Z-Wave). В августе 2012 года протокол Z-Wave получил разрешение на использование в Японии на рынке систем автоматизации дома и зданий [6]. Протокол Z-Wave в России работает на выделенных ГРЧ частотных участках диапазона 868 МГц. Для продвижения продукции Z-Wave был создан [консорциум](#) производителей Z-Wave Alliance [4].

Сеть Z-Wave может состоять из двух типов узлов – контроллеры и подчиненные устройства. Контроллеры способны инициировать передачу, а также хранить информацию, связанную с сетевой маршрутизацией. Ведомые устройства являются оконечными устройствами, выполняющие запросы контроллера. Каждая сеть Z-Wave имеет уникальный 32-битный идентификатор, называемый домашним идентификатором (Home ID). Контроллеры имеют предустановленный сетевой идентификатор, ведомые устройства получают Home ID от контроллера при подсоединении к сети. Если к сети подсоединяется еще один контроллер, он наследует Home ID от первичного контроллера. Индивидуальные узлы в сети адресуются с использованием 8-ми битного идентификатора узла (8-bit Node ID), который также назначается контроллером. Node ID уникален только в пределах своей сети. Узлы Z-Wave формируют ячеистую (mesh) сеть с максимальным количеством устройств в сети – 232. Скорость передачи данных в сети Z-Wave составляет 40 Кбит/с. Среднее расстояние между двумя узлами составляет 30 м. Сообщение может быть передано между узлами сети до 4 раз, таким образом, покрытие является достаточным для большинства жилых домов.

Протокол Z-Wave использует маршрутизацию от источника, когда контроллерное устройство, которое инициирует сообщение, генерирует полный маршрут до конечного пункта назначения. Маршрут помещается в пакет данных, и каждое промежуточное устройство, которое получает пакет с маршрутной информацией, направляет его в соответствии с содержимым пакета. Минусом такого подхода является увеличенная длина пакета.

Протоколы ZigBee и Z-Wave являются конкурентами для применения в системах автоматизаций зданий.

#### *4 Основные показатели БСС*

При сравнении нескольких WSN необходимо оценить, насколько быстро передаются данные, и каковы расходы. Сеть должна быть рассчитана на работу в среде с долей переданных пакетов (PDR), составляющей примерно 50%.

При разработке беспроводных систем сбора данных необходимо выдержать соответствие нескольким критериям.

Во-первых, система должна отвечать минимальным требованиям по надежности. В промышленных приложениях необходимо получать 99,9% показаний, а потеря данных может привести к нежелательным последствиям.

Во-вторых, система должна обеспечивать заданную полосу пропускания, т.е. осуществлять успешную передачу определенного количества пакетов в единицу времени.

В-третьих, пакеты необходимо передать за указанный промежуток времени, иначе содержащаяся в них информация может устареть.

В-четвертых, сеть должна быть рассчитана на работу в жестких средах, например, при сильных колебаниях температуры или при соблюдении ограничений, связанных с вопросами безопасности. Ниже будут рассмотрены решения, отвечающие всем четырем требованиям.

Ключевым критерием выбора того или иного решения является стоимость владения и гибкость. Стоимость владения подразумевает затраты на разработку продукта, его установку, стоимость аппаратной части и расходуемой в течение всего срока службы энергии.

Беспроводные технологии позволяют существенно снизить стоимость установки, однако при питании от батареи требуется периодическая замена элементов питания. Приходится выбирать метод получения энергии. С одной стороны, можно обойтись несколькими мощными источниками питания (при этом сокращается стоимость аппаратной части), либо использовать большое количество маломощных устройств. В устройствах, питающихся от экологически чистых источников (солнечные или термоэлектрические элементы), емкость конденсатора сильно влияет на стоимость. Ослабить эту зависимость можно с помощью введения детерминированного планирования, например, за счет временного разделения доступа (TDMA), когда ресурсоемкие события не происходят одновременно.

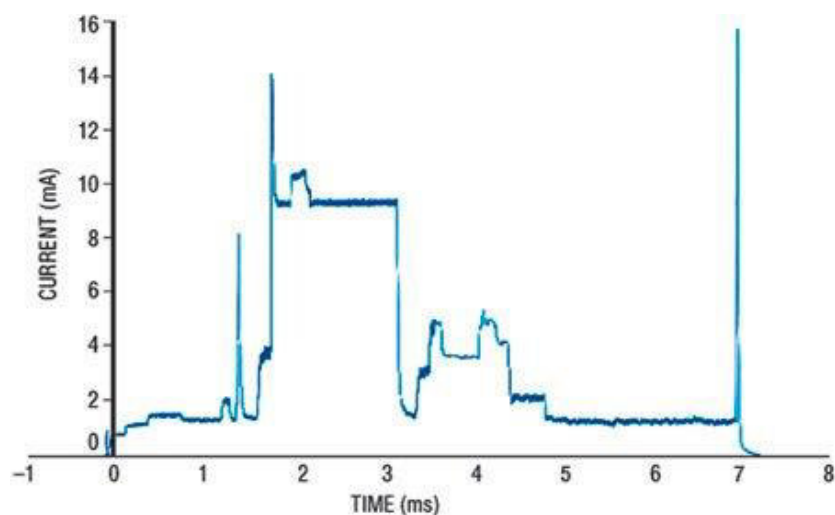


Рис. 4. Энергозатраты на передачу и подтверждение приема пакета 802.15.4.  
Time — время; current — ток.

Поскольку невозможно предсказать конечные условия эксплуатации, сети должны обеспечивать гибкость и масштабируемость в зависимости от количества датчиков и плотности их расстановки. Для обеспечения надежности уровень интерференции должен быть невысоким, и система должна сохранять функционирование в случае отказа отдельных узлов. Повысить надежность и уменьшить задержку передачи можно с помощью дополнительных ресурсов, например, за счет увеличения количества беспроводных каналов, увеличения количества соседних устройств для каждого узла, увеличения коэффициента усиления сигнала. При этом растет потребление, поэтому рекомендуется проводить динамическое распределение ресурсов.

Стандартные решения обеспечивают нечувствительность к сбоям в цепи поставок одного из поставщиков, а также соответствуют руководящим принципам работы, таким как безопасность архитектуры.

Хочу отметить, что беспроводной канал сам по себе ненадежен — разнообразные препятствия мешают переданному пакету достичь приемника. Одним из таких явлений является интерференция. Если два передатчика используют один канал, сигналы накладываются, и каждый искажается на приемном конце. Из-за этого передатчик вынужден повторять передачу, расходуя дополнительное время и энергию.

Интерференция может возникать от самой сети, если в ней не предусмотрен механизм планирования сессий. Особенно сложна ситуация, когда два передатчика слышат приемник, но не слышат друг друга. Такое явление называется «скрытый терминал». В этом случае для разрешения коллизий необходимо использовать механизмы обратной связи и получения подтверждения. Интерференция может быть также обусловлена работой другой сети в данном частотном диапазоне [4]. Это внешняя интерференция, которая особенно сильна в нелицензируемом диапазоне 2,400...2,485 ГГц, в котором работают устройства Wi-Fi, Bluetooth и 802.15.4.

Второй причиной возникновения интерференции является многолучевость прохождения сигнала, которая может привести к потере пакета. Это более опасная ситуация, и ее сложно оценить количественно. Этот эффект часто называют «внутренней интерференцией». Она

возникает, когда приемник улавливает помимо сигнала, идущего по линии прямой видимости, тот же сигнал, отраженный от препятствий (потолок, пол, люди и т.д.). Поскольку эти сигналы проходят путь различной длины, они приходят в разное время и при взаимодействии друг с другом могут потерять исходную информацию. Многолучевость зависит от расположения и свойств всех объектов окружающей среды, и ее сложно предсказать на практике [2].

Из-за многолучевости и интерференции ключ к построению надежной сети лежит в использовании нескольких каналов и путей прохождения сигнала.

#### *Заключение*

В итоге можно сказать, что беспроводные сенсорные сети получают всё большее развитие из-за новейших разработок в микропроцессорной схемотехнике. Многоканальные же ячеистые сети с временной синхронизацией на основе радиоприемников 802.15.4 позволяют преодолеть большинство сложностей, возникающих при построении гибких, надежных и экономичных, с точки зрения расхода энергии сетей, беспроводных датчиков.

Технология расширения спектра в полосе 2,4 ГГц обеспечивает нечувствительность к шуму, что особенно важно, если маломощные устройства рассчитаны на работу в загруженной нелицензируемой полосе. Согласно требованиям стандарта, пакет должен иметь подтверждение и при необходимости — защиту и цифровую подпись. Это гибкое решение основано на нескольких протоколах, в том числе ZigBee для организации асинхронных одноканальных сетей и WirelessHART для формирования синхронизованных по времени многоканальных сетей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кучерявый А.Е. Построения сенсоров и сенсорных сетей / Электросвязь, 2006. — №6 — с. 10-15.
2. Сысоева С. Новые сенсорные решения. Выход на новый уровень измерений/ Компоненты и технологии. 2011. № 8.
3. Гайкович Г. Стандартизация в области промышленных сетей/ Г. Гайкович/ Электронные компоненты . 2009. №1. с. 37-39.
4. Иваненко В.А. Анализ протоколов передачи данных от узлов в беспроводных сенсорных сетях/ В.А. Иваненко/ Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. 2/10 (50). – с. 9-12.
5. 802.15.4-2011 – IEEE Standard for Local and metropolitan area networks/ IEEE Standards Association. – 2011. – <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.4-2011.html>. (дата обращения 14.04.2022).
6. 10. ZigBee Standards Overview/ ZigBee® Alliance. Режим доступа: <http://www.zigbee.org/Standards/Overview.aspx>. (дата обращения 14.04.2022).

## СТРАТЕГИИ И ИННОВАЦИИ В РАЗВИТИИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет  
<sup>2</sup>Национальная Академия наук (НАН) Беларуси

Ключевые слова: информационно-коммуникационная инфраструктура, корпоративная сеть, цифровая экономика, электронное правительство, экономическая модель.

В развитии мировой экономики и мирового сообщества, в целом, важно эффективно находить решения экономических и социальных проблем путем использования актуальных экономико-математических методов исследования, современных моделей и показателей анализа эффективности отдельных элементов.

В представленной работе рассмотрены основные стратегические направления развития цифровой экономики Республики Беларусь. Проанализированы фактические данные статистических исследований технико-экономического обеспечения и внедрения инновационных IT-технологий.

D.Yu. Kvasha<sup>1</sup>, P.G. Nikitenko<sup>2</sup>

## STRATEGIES AND INNOVATIONS IN THE DEVELOPMENT OF THE DIGITAL ECONOMY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

<sup>1</sup>Belarusian State University  
<sup>2</sup>National Academy of Sciences (NAS) of Belarus

Keywords: information and communication infrastructure, corporate network, digital economy, e-government, economic model.

In the development of the world economy and the world community as a whole, it is important to effectively find solutions to economic and social problems through the use of relevant economic and mathematical research methods, modern models and indicators for analyzing the effectiveness of individual elements.

In the presented work, the main strategic directions for the development of the digital economy of the Republic of Belarus are considered. The actual data of statistical studies of technical and economic support and the introduction of innovative IT technologies are analyzed.

Одной из актуальных экономических проблем является диспропорциональность экономики, что в некоторой мере только усиливает информационный хаос, который всегда приводит к сложности. Теория хаоса является частью теории динамических, постоянно меняющихся систем. Способность объединить и упорядочить разнообразие видов и форм информации, преобразовать их в цифровую, а также умение классифицировать, сортировать, хранить и анализировать информацию, являются основой стремительного технологического и экономического развития [1].

На фоне экономических проблем, вызванных последствиями пандемии COVID–19, необходимы качественные и эффективные разработки, содержащие комплексное рассмотрение экономических и социальных проблем анализа динамики, стратегии развития и моделирования национальной экономики Республики Беларусь, определяющие пути ее дальнейшего развития и формирования организационно–управленческих решений.

Темпы мирового экономического роста в 2020 году были отмечены Всемирным банком резко ниспадающими, требовали рецессии с учетом негативного воздействия пандемии [2].



Данный кризис с момента организации Группы Всемирного банка в 1947 являлся самым глубоким в мировой экономике за многие десятилетия. Пауза, выжидание позволили Беларуси, как и другим странам мира, несколько минимизировать риски в 2020 году и избежать значительного отрицательного воздействия внешних событий.

Сжатие экономической активности в 2020-2021 годах и меры, принятые с целью замедления распространения вируса в настоящее время по возможности способствовали устранению неблагоприятных глобальных последствий.

Важной экономической проблемой выступает диспропорциональность экономики и в некоторой мере только усиливает информационный хаос, который всегда приводит к сложности. Экономическая система Белоруссии перешла на новый, более дифференцированный, более высокий уровень упорядоченности и фактически в целом до кризисной ситуации развивалась по экспоненте в условиях цифровой глобализации.

Глобальная мировая цифровизация достигла значительных высот за последние десятилетия. В целях содействия развитию электронного управления и демократии, цифрового развития информационного общества, цифровой экономики и инноваций, а также регулирования на государственном уровне социально-экономических отношений участников цифровой экономики и стратегического планирования развития с учетом мировых тенденций Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 02 февраля 2021 года № 66 была утверждена Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021 – 2025 годы. Государственной программой предусматривается целостная, комплексная цифровая трансформация систем и процессов государственного управления, регионального и отраслевого развития, ее результаты положительно сказываются на достижении основных целей устойчивого развития Беларуси [3], в частности в сферах здравоохранения, образования, обеспечения экологической устойчивости т.д.

За последние пять лет частично решены некоторые стратегические задачи по развитию национальной информационно-коммуникационной инфраструктуры, услуг, предоставляемых на ее основе, модернизированы и созданы новые сервисы электронного правительства, внедрены цифровые решения в различных отраслях экономики, утвержденные Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23 марта 2016 г. № 235 положениями Государственной программы развития цифровой экономики и информационного общества на 2016 – 2020 годы. Однако некоторое технологическое отставание, изношенность и моральное устаревание основных средств многих организаций ранее было фактором сдерживания развития информационно-коммуникационной инфраструктуры и цифровой экономики в республике.

Создание защищенной корпоративной сети органов государственной безопасности с использованием устройств криптографической защиты информации отечественного производства, повышение качественного уровня систем электронного правительства фактически были основными мероприятиями в 2016 – 2020 годах [4]. Реализация многих мероприятий и сейчас продолжается, в том числе для реализации отечественных проектов с целью улучшения национального имиджа на международном рынке ИТ-технологий.

В рамках реализации подпрограммы «Информационная безопасность и «цифровое доверие» проводятся мероприятия по совершенствованию системы информационной безопасности, обеспечивающей правовое и безопасное использование решений, внедряемых в рамках цифрового развития Республики Беларусь, укрепление доверия, обеспечение условий для безопасного оказания и получения электронных услуг (непосредственно формирование «цифрового доверия» к онлайн-экономике).

Стоит отметить такие мероприятия по научному обеспечению созданию в 2021 – 2023 гг. национальной платформы контроля и реагирования на инциденты безопасности в ведомственных ИТ-инфраструктурах Оперативным аналитическим центром Беларуси, инфраструктуры облачной электронной цифровой подписи и доверенных сервисов на базе Государственной системы управления открытыми ключами проверки электронной цифровой подписи, единой программной платформы органов государственной безопасности, системы сбора, обработки и анализа больших массивов неструктурированных данных специального назначения и др. государственно важные мероприятия [3].

Стоит отметить, что в 2021 году успешно созданы защищенные корпоративные сети органов государственной безопасности с использованием устройств криптографической защиты информации отечественного производства, применены технологии нового поколения – не только с применением технологий BigData и Blockchain, но и новейших комбинаторных [5].

В основном республиканские предприятия использовали сеть Интернет для передачи сообщений по электронной почте, осуществления банковских операций, получения информации о товарах и услугах и другое. Качество и плотность Интернет-покрытия в Беларуси сейчас на достаточном уровне и, всего несколько лет назад перейдя на стандарт связи 3G, в настоящее время активно внедряются технологии 4G и даже 5G.

По рейтингу групп со средним доходом Беларусь занимает 53-е место, что ставит ее экономику на 135-е место среди самых свободных в Индексе 2022 года [6], и сейчас Беларусь занимает 45-е место среди 45 стран региона Европы – ее общий балл ниже средних региональных и мировых показателей. Многолетнее первенство в развитии IT-технологий принадлежит Швейцарии, Швеции, США, Великобритании, Республике Корея, Нидерландам, Финляндии, Сингапуру, Дании, Германии и другим странам.

В последние пять лет в Беларуси наблюдался неравномерный экономический рост, а совокупный пятилетний годовой темп роста составляет всего 0,7 процента. Экономическая свобода снизилась за тот же период, что связано со значительным снижением уровня верховенства закона, свободы труда и свободы бизнеса. Беларусь зафиксировала общую потерю экономической свободы на 5,6 балла с 2017 года и перешла из категории «умеренно свободных» в разряд «в основном несвободных». Налоговое бремя и показатели фискального здоровья в некоторой степени положительны, но верховенство закона, свобода инвестиций и финансовая свобода ограничены [7].

В настоящее время, Республика Беларусь вовлечена в глобальный процесс диджитализации и находится в процессе трансформации на пути к переходу к цифровой экономике. В тоже время, еще существуют проблемы, тормозящие прогрессивное развитие информационно-коммуникационных и цифровых технологий в стране. Среди основных проблем можно выделить следующие: проблемы в создании соответствующего институционального и правового обеспечения, адаптация законодательства к ключевым стандартам ЕС и другое. Институционально-экономическое и правовое обеспечение трансформационного периода является еще одной весомой проблемой становления цифровой экономики в Республике Беларусь, требующей разработки методического обеспечения, создания специальных комитетов и проектных групп. Решение этой проблемы позволит на государственном уровне регулировать социально-экономические отношения участников цифровой экономики, стратегически планировать развитие Беларуси с учетом мировых тенденций и облегчить ее полноправное участие в Едином цифровом рынке наравне со странами Евросоюза, что помогло бы перенять опыт передовых стран в регулировании цифровой экономики на уровне государства и внедрить международные стандарты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кваша, Д. Ю. Коррекция и развитие рынка криптовалют в ситуации экономической нестабильности / Д. Ю. Кваша // Сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции «Инфокоммуникационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики», Екатеринбург, Россия, 17 февраля 2021 г. / Уральский технический институт связи и информатики (филиал) (УрТИСИ СибГУТИ) / под ред. Е. А. Субботина др. – Екатеринбург: Изд-во УрТИСИ СибГУТИ, 2021. – С. 294-299. – <https://elib.bsu.by/handle/123456789/261699>.
2. Pandemic, Recession: The Global Economy in Crisis. The World Bank Group. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vsemirnyjbank.org/ru/publication/global-economic-prospects>. Дата доступа: 29.03.2022.
3. Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021 – 2025 годы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mpt.gov.by/ru/gosudarstvennaya-programma-cifrovoe-razvitie-belarusi-na-2021-2025-gody>. Дата доступа: 23.02.2022.
4. Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2016 – 2020 годы.

[Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mpt.gov.by/ru/gosprogramma-razvitiya-cifrovoy-ekonomiki-i-informacionnogo-obshchestva-na-2016-2020-gody>. Дата доступа: 27.01.2022.

5. Seminar on Development and Planning of Next Generation Artificial Intelligence. Organizer Wuhan Research Institute of Posts and Telecommunications, Beijing China. Time Sep.9th – Sep.22th, 2021. Language English, Online training, Platform Voov Meeting. – Link: <https://meeting.tencent.com/dm/SFTa8cEMiWa3?rs=25>. Meeting ID: 918 4877 7523
6. Глобальный инновационный индекс 2021 г. экономика Беларуси. <https://www.globalinnovationindex.org/gii-2021-report#>. Дата доступа: 29.03.2022.
7. 2022 Index of economic freedom. World rang/ Belarus.– <https://www.heritage.org/index/country/belarus>. Дата доступа: 03.02.2022.

## АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНТЕНН С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, синтез антенны, патч-антенна, антенна Вивальди, конструирование антенн.

На сегодняшний день проведено уже немало исследований в области оптимизации и синтеза антенн с помощью нейронных сетей. Эксперименты проводились для различных видов антенн, однако больше всего работ относится к конструированию патч-антенн. В статье представлен обзор результатов анализа и конструирования различных типов антенн с помощью нейросетевого подхода.

D.V. Kusaykin, A.E. Kamenskov

## ANALYSIS OF ANTENNA DESIGN APPROACHES USING NEURAL NETWORKS

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Keywords: artificial neural network, antenna synthesis, patch antenna, Vivaldi antenna, antenna design.

To date, a lot of research has already been carried out in the field of optimization and synthesis of antennas using neural networks. Experiments were carried out for various types of antennas, but most of the work relates to the design of patch antennas. The article presents an overview of the results of the analysis and design of various types of antennas using a neural network approach.

Сегодня нейронные сети (НС) являются очень популярной концепцией и множество исследователей изучают их возможности в применении для различных задач как новый эффективный инструмент. Среди таких примеров применения нейронных сетей можно отметить область конструирования антенн и антенных систем, прогнозирования их параметров. В данной области НС можно применять для разных задач, но основная цель применения – сократить длительные стадии анализа и проектирования антенн, которые требуются для разработки высокопроизводительных систем. При детальном рассмотрении процессов и задач в радиосистемах новых поколений можно заметить, что в антенных системах имеют место значительные нелинейности между входными и выходными параметрами. Это обстоятельство делает инструментарий нейронных сетей хорошо подходящим для решения задач их проектирования. За счет своей структуры с множеством слоев НС хорошо аппроксимируют такие нелинейные взаимосвязи.

В работах [3,4,8] приведены результаты проектирования и оптимизации различных конструкций микрополосковой патч-антенны с использованием искусственных нейронных сетей. Для прямоугольной микрополосковой антенны и ее модификации в [3] прямая реализация НС используется как инструмент для определения ширины и длины антенны по таким входным данным как толщина подложки, резонансная частота, диэлектрическая проницаемость обратная реализация НС – для определения резонансной частоты. Использовались два вида НС: сеть с радиальной базисной функцией и многослойный перцептрон (МП). Обучение НС производится с помощью стандартного алгоритма обратного распространения.

С помощью НС также было проведено проектирование круглой патч-антенны [4]. Сеть вида МП принимает в качестве входных данных толщину подложки, диэлектрическую проницаемость и резонансную частоту основной моды  $TM_{11}$  и выдает соответствующий радиус круга патч-антенны. Параметры скрытого слоя НС аналогичен предыдущей рассматриваемой работе. Результат расчета сетью резонансной частоты основной моды  $TM_{11}$  сравнивался с численным результатом, полученным из выражения Гуни

$$f_r = \frac{1.84118 c}{2\pi a [\epsilon_{eff} (1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r a} (\ln(\frac{a}{2h}) + (1.44 \epsilon_r + 1.77) + \frac{h}{a} (0.268 \epsilon_r + 1.65)))]^{1/2}}$$

где  $a$  – радиус круга;

$h$  – высота подложки;

$\epsilon_r$  – диэлектрическая проницаемость подложки;

$\epsilon_{eff}$  – эффективная диэлектрическая проницаемость, вычисляемая по формуле

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} (1 + \frac{12h}{a\sqrt{\pi}})^{-1/2}$$

Авторы пришли к выводу, что выходные данные сети достаточно точно соответствуют истинным данным с относительной средней ошибкой 0.74%.

В [2] рассмотрены вопросы применения НС в задаче синтеза антенны Вивальди с зеркальным расположением лепестков. При описании кривых лепестков антенны Вивальди использовалось уравнение

$$\begin{cases} x = x_1 + k(x_2 - x_1) \\ y = (e^{R(x_1 + k(x_2 - x_1))} (y_2 - y_1) + y_1 e^{Rx_2} - y_2 e^{Rx_1}) / (e^{Rx_2} - e^{Rx_1}) \end{cases}$$

где  $R$  – параметр определяющий крутизну экспоненты лепестков антенны;  $y_1$  – перекрытие лепестков антенны относительно оси абсцисс;  $y_2$  – ширина апертуры антенны;  $x$  – переменная, изменяемая в пределах от 0 до  $x_2$ , определяющую функцию  $y$ , задающую изменение кривой лепестка от перекрытия до крайнего положения апертуры антенны;  $x_1$  – переменная, задающая начальную точку лепестка;  $x_2$  – высота лепестка и высота всей антенны;  $k$  – коэффициент определяющий шаг построения кривой лепестка антенны.

Для возможности исследования антенны и осуществления необходимого сбора данных была построена компьютерная модель антенны Вивальди в среде CST Studio Suite. Полученная база данных была использована для обучения искусственной нейронной сети, в процессе обучения на вход подавались значения ширины диаграммы направленности в двух плоскостях и диапазон рабочих частот, на выходе использовались радиус кривой лепестков антенны и половинное значение ширины раскрыва антенны. В [6] кривая лепестков антенны Вивальди определялась НС по 5 дискретным точкам.

В [8] авторы привели результаты разработки с помощью МП эллиптической микрополосковой антенны с рабочей частотой 2,4 ГГц. Патч-антенна состоит из трех объединенных эллипсов с главными осями R1, R2 и R3, которые выгравированы на подложке толщиной 1,6 мм с диэлектрической проницаемостью 4,3.

На вход НС подавались значения размеров антенны R1, R2 и R3. Остальные параметры антенны были фиксированы. Выходными параметрами НС выступали обратные потери и коэффициент усиления. Обучение и тестирование модели НС осуществлялось на основе данных, полученных с помощью программного пакета CST EM. Данные 160 реализаций антенны в CST EM были разделены на 100 реализаций для обучения и 60 реализаций для тестирования НС. Для обучения использовался алгоритм Левенберга-Марквардта. Результаты

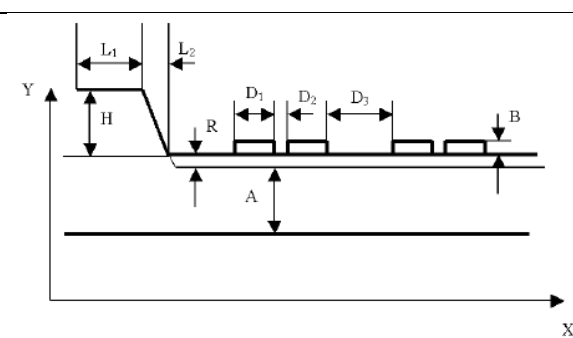
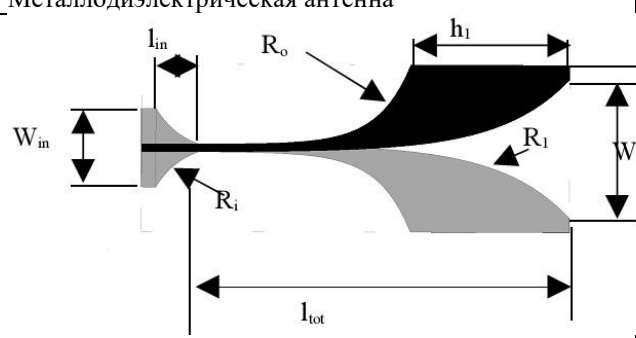
исследования показали высокое соответствие между моделируемыми и измеренными параметрами антенны. Сравнение смоделированных и расчетных данных испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

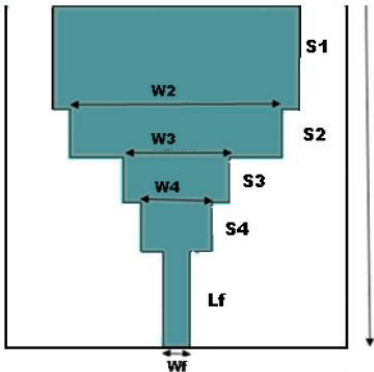
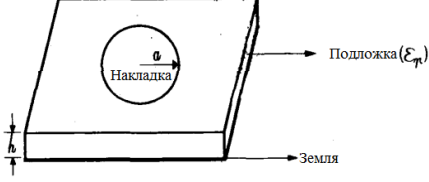
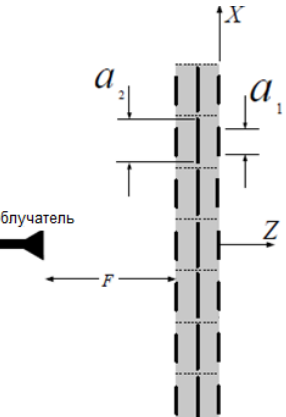
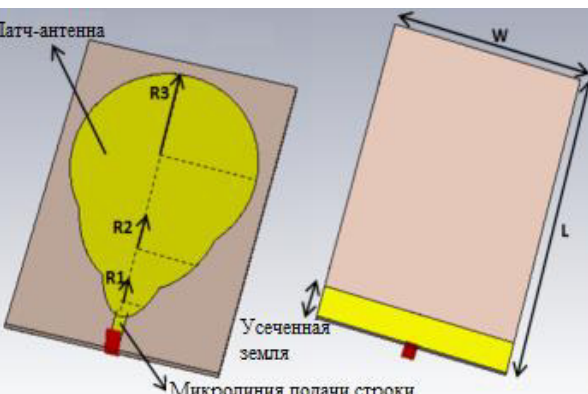
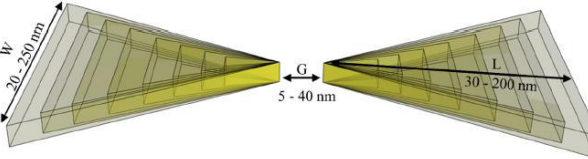
	Входные параметры			Результаты, полученные с помощью CST		Результаты, полученные с помощью НС	
	R1	R2	R3	Обратные потери (дБ)	Усиление (дБ)	Обратные потери (дБ)	Усиление (дБ)
1	25.55	30.5	31.5	-17.1831	4.201	-17.188	4.3441
2	25.845	30.5	31.5	-17.4797	4.236	-17.430	4.3467
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	31.155	30.5	31.5	-22.3354	4.474	-22.556	4.5055
21	29.5	27.45	31.5	-31.6676	4.521	-31.727	4.4782
22	29.5	27.755	31.5	-32.9704	4.517	-32.763	4.4835
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
40	29.5	33.245	31.5	-20.2847	4.424	-20.229	4.4548
41	29.5	30.5	28.35	-21.0438	4.497	-21.054	4.5021
42	29.5	30.5	28.665	-21.5295	4.488	-21.471	4.5023
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
60	29.5	30.5	34.335	-27.9300	4.361	-27.618	4.3627

Результаты анализа работ касательно задачи конструирования антенн различных топологий на основе нейронных сетей приведены в таблице 2.

Таблица 2

Работа	Решаемая задача с помощью НС	Вид антенны	Вид НС	Параметры НС
[1]	прогнозирование диаграммы направленности	 <p>Металлодиэлектрическая антенна</p>	многослойный персептрон	число эпох обучения 10 000, 4 нейрона входного слоя
[2,5,6]	<p>Оптимизация значения геометрического параметра антенны для достижения требуемого коэффициента отражения и коэффициента усиления</p> <p>Определение геометрических размеров по заданной ширине диаграммы направленности и диапазону рабочих частот</p>	 <p>Антенна Вивальди</p>	многослойный персептрон	10 входных нейронов, представляющих X и Y параметры пяти точек профиля, 3 слоя по 10 нейронов в каждом [6]

Продолжение таблицы 2

[3]	Прогнозирование значения резонансной частоты	 <p>Микрополосковая антенна</p>	сеть с радиальной базисной функцией и многослойный перцептрон	30 нейронов скрытого слоя
[4]	Прогнозирование значения радиуса патч-антенны	 <p>Круглая патч-антенна</p>	многослойный перцептрон	30 нейронов скрытого слоя, 3 входных, 1 выходной
[7]	Прогнозирование значений коэффициентов передачи и отражения на основе геометрических характеристик поверхности	 <p>Transmit-array антенна</p>	многослойный перцептрон	нет данных
[8]	Прогнозирование значений коэффициента усиления и возвратных потерь на основе параметров антенны R1, R2, R3		многослойный перцептрон	10 нейронов скрытого слоя, 3 входных, 2 выходных
[9]	Прогнозирование и проектирование значений интегрального уравнения электрического поля (EFIE)		многослойный перцептрон, глубокая НС	5 скрытых слоев, 1 слой - 300 нейронов, 2-5 слоя 450

Таким образом, на сегодняшний день проведено уже немало исследований в области оптимизации и синтеза антенн с помощью нейронных сетей. Эксперименты проводились для различных видов антенн, однако больше всего работ относится к конструированию патч-

антенн. В качестве архитектуры нейронной сети применялись сеть с радиальной базисной функцией и многослойный перцептрон. В ряде работ можно отметить использование глубоких нейронных сетей с числом нейронов более 100.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Степанчук А.П. О решении задачи оптимизации антенны // В сборнике: Молодежь и наука: шаг к успеху. Сборник научных статей 2-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых : в 3 т.. Юго-Западный государственный университет; Московский политехнический университет. 2018. С. 340-343.
2. Ибрагимов С.А. Формирование топологии антенны вивальди с применением искусственной нейронной сети // 2021 Сборник материалов 42 итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ. Махачкала, С. 83-85.
3. K.K. Sukhdeep, S. POOJA, K. Naveen, K. Rajesh Design and Optimization of Microstrip Patch Antenna using Artificial Neural Networks // 2019 International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Vol. 8, No-9s, pp.611-616.
4. R. K. Mishra, A. Patnaik Design of Circular Microstrip Antenna using Neural Networks // 1998 IETE Journal of Research, Vol. 44, Issue 1-2, С. 35-39.
5. Adel Elsherbini; A. H. Kamel; H. Elhennawy Optimization of an Antipodal Vivaldi Antenna using Synthesis Neural Networks and a Novel Genetic Algorithms Approach // 2007 National Radio Science Conference, С. 1-7.
6. Дубровко. Оптимизация антенны Вивалди нейронно-генетическим методом // 2008 XVIII Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2008), С. 425-426.
7. Gurpreet Gosal, E'qab Almajali, Derek McNamara Transmitarray Antenna Design Using Forward and Inverse Neural Network Modeling// 2015 IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 15, С. 1483–1486.
8. Passant k. Abbassi;N. M. Badra;A. M. M.A. Allam;Ahmed El-Rafei WiFi Antenna Design and Modeling using Artificial Neural Networks // 2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE). С. 270-274.
9. 4. Wu Q., Li X., Jiang L., Xu X., Fang D., Zhang J., Song C., Yu Z., Wang L., Gao L. Deep neural network for designing near- and far-field properties in plasmonic antennas // 2021 Optical Materials Express, Vol. 11, no 7, С. 1907–1917.



## **СЕКЦИЯ 3. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**В.О. Иванов, Ю.Н. Иванов, Н.В. Давыдова**

### **К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ УРОВНЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАКЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

Ключевые слова: сети электросвязи, метрологические требования, единство измерений, метрологическое обеспечение, измерительная информация, технические нормы, технология коммутации пакетов.

В настоящее время в Единой сети электросвязи РФ (ЕСЭ) нашли широкое применение технологии коммутации пакетов данных Интернет-протокола IP. В данной статье рассмотрены актуальные вопросы метрологического обеспечения измерений в пакетно-ориентированных сетях электросвязи специального назначения для нужд государственного управления, обороны страны и безопасности государства

**V.O. Ivanov, Yu.N. Ivanov, N.V. Davydova**

### **TO THE QUESTION OF INCREASING THE LEVEL OF METROLOGICAL SUPPORT OF PACKET-ORIENTED TELECOMMUNICATION NETWORKS FOR SPECIAL PURPOSE**

Academy of the FSO of Russia

Key words: telecommunication networks, metrological requirements, uniformity of measurements, metrological support, measurement information, technical standards, packet switching technology.

At present, in the Unified Telecommunication Network of the Russian Federation (UEN), the technology of switching data packets of the Internet protocol IP has been widely used. This article discusses topical issues of metrological support for measurements in packet-oriented telecommunication networks for special purposes for the needs of public administration, national defense and state security.

Сети электросвязи специального назначения, предназначенные для нужд государственного управления, обороны страны и безопасности государства (СЭСН) в соответствии с Федеральным законом от 7 июля 2003 года № 126-ФЗ «О связи» являются составной частью ЕСЭ и используют выделенные ресурсы сети связи общего пользования (ССОП) для взаимодействия сегментов СЭСН в различных регионах страны. Специфика эксплуатации СЭСН определяется спецпользователями, т.е. федеральными органами исполнительной власти области обороны и безопасности (ФОИВ ООБ) в ведении которых находятся такие сети связи [1].

Для всех сетей электросвязи, составляющих ЕСЭ Минцифры России:

определяет порядок их взаимодействия и в зависимости от категорий сетей связи устанавливает требования к их организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования;

устанавливает в соответствии с законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений обязательные метрологические требования к измерениям, выполняемым при эксплуатации сети связи общего пользования, и к применяемым средствам

измерений в целях обеспечения целостности и устойчивости функционирования сети связи общего пользования.

В случае присоединения СЭСН к ССОП заключается государственный контракт, в котором обязательно предусматриваются порядок принятия мер по обеспечению устойчивого функционирования взаимодействующих сетей связи.

Повышение уровня метрологического обеспечения измерений в СЭСН для нужд государственного управления, обороны страны и безопасности государства является приоритетным научным направлением исследований для всех метрологических служб федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих деятельность в области обороны и безопасности (ФОИВ ООБ), в ведении которых находятся такие сети связи.

Метрологическое обеспечение (МЛО) непосредственно влияет на качество измерительной информации, на основе которой вырабатываются (принимаются) решения о соответствии СЭСН техническим нормам.

Таким образом, комплекс мероприятий МЛО СЭСН охватывает как сами процессы получения измерительной информации о параметрах и характеристиках сетей и их составляющих, так и мероприятия по достижению необходимого качества данной информации.

Под измерительной информацией понимаются сведения о количественных значениях измеряемых параметров СЭСН, обладающие свойствами, необходимыми для принятия управляющих решений. Данные свойства включают единство, точность, полноту и своевременность измерений.

Качественная характеристика совокупности этих свойств определяет степень удовлетворения потребности сетей связи в метрологическом обеспечении и отражает уровень или качество МЛО СЭСН в целом.

Требования к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования взаимодействующих сетей связи в составе ЕСЭ нашли отражения в приказе Минцифры России от 25.11.2021 № 1229 [2].

Именно в данном приказе установлены технические нормы на показатели функционирования пакетно-ориентированных сетей передачи данных, использующих технологии коммутации пакетов данных интернет-протокола IP, таких как средняя задержка пакетов информации, отклонение от среднего значения задержки передачи пакетов информации, коэффициент потери пакетов информации, коэффициент ошибок в пакетах.

Известно, что все измерения в сетях связи, в том числе специального назначения, согласно пункта 3 статьи 1 Федерального закона Российской Федерации от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ относятся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. При этом для ССОП измерения выполняются при учете объема оказанных услуг электросвязи операторами связи и обеспечении целостности и устойчивости функционирования сети, а для СЭСН в равной степени важности такие измерения проводятся при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства.

Таким образом соблюдение обязательных требований в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, установленных ФЗ № 102-ФЗ, находится под контролем государства и осуществляется в рамках метрологического контроля и надзора уполномоченными органами и подразделениями.

Технологии коммутации пакетов данных интернет-протокола IP в настоящее время нашли широкое применение в ЕСЭ, а также в пакетно-ориентированных СЭСН, присоединяемых к ЕСЭ. В течении последних пяти лет для ЕСЭ разработаны и утверждены: перечень измерений на ССОП с коммутацией пакетов и метрологические требования к ним [3]; конкретные методики измерений, с указанием специальных измерительных систем и комплексов, утвержденного типа, позволяющих с требуемой точностью получить необходимую достоверную измерительную информацию о параметрах таких сетей для последующего их сравнения с техническими нормами.

Анализ метрологического обеспечения, в частности в подразделениях ФОИВ ООБ, показал, что для ведомственных пакетно-ориентированных сетей, присоединяемых к ССОП, не установлен перечень измерений и метрологические требования к ним, соответственно

отсутствуют применяемые методики и средства измерения, утвержденного типа для сетей такого рода.

Таким образом, важно отметить, что актуальной задачей повышения уровня метрологического обеспечения СССН в составе ЕСЭ РФ является совершенствование нормативно-методических и правовых основ:

- расширение перечней измерений, утверждаемых в ФОИВ ООБ в части пакетно-ориентированных СЭСН, присоединяемых к ССОП ЕСЭ РФ;
- установление метрологических требований к таким измерениям;
- разработка и применение современных методик измерения параметров в пакетно-ориентированных СЭСН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Постановление Правительства РФ от 22.02.2006 № 103 (ред. от 17.04.2021). «Об утверждении Правил подготовки и использования ресурсов единой сети электросвязи Российской Федерации в целях обеспечения функционирования сетей связи специального назначения».
2. Приказ Минцифры России от 25.11.2021 № 1229. «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования». (Зарегистрировано в Минюсте России 28.02.2022 №67548). // Официальный интернет-портал правовой информации <http://pravo.gov.ru>, 01.03.2022.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.11.2020 № 1847 «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».

## АВТОРЫ СТАТЕЙ

- АНИКЕЕВА** старший преподаватель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ), г. Новосибирск, Россия, [anikeeva-sasha@mail.ru](mailto:anikeeva-sasha@mail.ru)  
Александра Евгеньевна
- АНИКЕЕВА** кандидат экономических наук, доцент АНОО ВО Центросоюза РФ «Сибирский университет потребительской кооперации», г. Новосибирск, Россия, [anikeeva-masha@mail.ru](mailto:anikeeva-masha@mail.ru)  
Мария Евгеньевна
- АНОХИН** студент Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [e700.2001@gmail.com](mailto:e700.2001@gmail.com)  
Александр Антонович
- БАРАНОВ** кандидат технических наук, доцент кафедры инфокоммуникационных технологий и мобильной связи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [oda@urtisi.ru](mailto:oda@urtisi.ru)  
Сергей Анатольевич
- БЕЛОУСОВ** студент магистратуры Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [ansviter@mail.ru](mailto:ansviter@mail.ru)  
Андрей Сергеевич
- БЕЛЫХ** студент Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [Pavel2002belykh@mail.ru](mailto:Pavel2002belykh@mail.ru)  
Павел Евгеньевич
- БРАГИН** аспирант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [braga.k.urtisi@gmail.com](mailto:braga.k.urtisi@gmail.com)  
Кирилл Игоревич
- БУДЫЛДИНА** кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой инфокоммуникационных технологий и мобильной связи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [bnv@urtisi.ru](mailto:bnv@urtisi.ru)  
Надежда Вениаминовна
- БУКРИНА** кандидат экономических наук, доцент кафедры многоканальной электросвязи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [bukreka@mail.ru](mailto:bukreka@mail.ru)  
Екатерина Владимировна
- БУРУМБАЕВ** студент Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [bdi@urtisi.ru](mailto:bdi@urtisi.ru)  
Даниль Ильмирович
- ВОЩЕНКОВ** директор ТОО «PolyComm», г. Караганда, Казахстан,

- Александр Николаевич [avoschenkov@mail.ru](mailto:avoschenkov@mail.ru)  
**ГЛАЗЫРИН** студент Уральского технического института связи и  
 Евгений Владимирович информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский  
 государственный университет телекоммуникаций и  
 информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ),  
 Россия, [rp-worlando@ya.ru](mailto:rp-worlando@ya.ru)
- ГЛЕБЕЦ** студент ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный  
 Алексей Леонидович университет (национальный исследовательский  
 университет)», г. Челябинск, Россия, [Lexa.glebec@yandex.ru](mailto:Lexa.glebec@yandex.ru)
- ГНИЛОМЕДОВ** доцент кафедры многоканальной электросвязи Уральского  
 Ефим Иванович технического института связи и информатики (филиала)  
 ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге  
 (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [mec@urtisi.ru](mailto:mec@urtisi.ru)
- ГОЛОВЛЕВ** студент ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный  
 Максим Олегович университет (национальный исследовательский  
 университет)», г. Челябинск, Россия,  
[golowlev.maksim@yandex.ru](mailto:golowlev.maksim@yandex.ru)
- ГОРЛОВ** доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО  
 Николай Ильич «Сибирский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ), г.  
 Новосибирск, Россия, [gorlovnik@yandex.ru](mailto:gorlovnik@yandex.ru)
- ДАВЫДОВА** кандидат технических наук, сотрудник Академии ФСО  
 Надежда Владимировна России, г. Орёл, Россия, [k23@academ.msk.rsnnet.ru](mailto:k23@academ.msk.rsnnet.ru)
- ДРОЗДОВА** кандидат технических наук, доцент Уральского  
 Вера Геннадьевна технического института связи и информатики (филиала)  
 ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге  
 (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [dvg@urtisi.ru](mailto:dvg@urtisi.ru)
- ЕФИМОВ** студент ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный  
 Максим Дмитриевич университет (национальный исследовательский  
 университет)», г. Челябинск, Россия, [ef-maximus@yandex.ru](mailto:ef-maximus@yandex.ru)
- ЗАЦЕПИН** кандидат педагогических наук, доцент, заведующий  
 Владимир Александрович кафедрой информационных систем и технологий Уральского  
 технического института связи и информатики (филиала)  
 ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге  
 (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [zva@urtisi.ru](mailto:zva@urtisi.ru)
- ЗЕЛЕНЦОВ** доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО  
 Борис Павлович «Сибирский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ), г.  
 Новосибирск, Россия, [zelentsov@mail.ru](mailto:zelentsov@mail.ru)
- ИВАНОВ** курсант Академии федеральной службы охраны (ФСО)  
 Владислав Олегович Российской Федерации, г. Орёл, Россия,  
[k23@academ.msk.rsnnet.ru](mailto:k23@academ.msk.rsnnet.ru)
- ИВАНОВ** кандидат технических наук, доцент, сотрудник Академии  
 Юрий Николаевич федеральной службы охраны (ФСО) Российской Федерации,  
 г. Орёл, Россия, [k23@academ.msk.rsnnet.ru](mailto:k23@academ.msk.rsnnet.ru)
- КАЛМЫКОВА** преподаватель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный  
 Дарья Дмитриевна университет телекоммуникаций и информатики»  
 (СибГУТИ), г. Новосибирск, Россия,  
[kalmykova\\_dd@sibguti.ru](mailto:kalmykova_dd@sibguti.ru)
- КАМЕНСКОВ** студент магистратуры Уральского технического института  
 Александр Евгеньевич связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский

- государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбург (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [sashakamenskov@mail.ru](mailto:sashakamenskov@mail.ru)
- КВАША** старший преподаватель Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь, [Kvasha\\_dyu@mail.ru](mailto:Kvasha_dyu@mail.ru)  
Дарья Юрьевна
- КВИТКОВА** старший преподаватель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ), г. Новосибирск, Россия, [irin.creme@yandex.ru](mailto:irin.creme@yandex.ru)  
Ирина Геннадьевна
- КОНДРАШОВ** инженер Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия, [kondrashov.d.a@yandex.ru](mailto:kondrashov.d.a@yandex.ru)  
Данила Александрович
- КОРИДЗЕ** старший преподаватель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Новосибирск, Россия, [a.n.koridze@mail.ru](mailto:a.n.koridze@mail.ru)  
Александра Николаевна
- КОРОБИЦЫН** методист лаборатории «Интернет вещей и самоорганизующиеся сети» Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбург (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [kiv@urtisi.ru](mailto:kiv@urtisi.ru)  
Иван Владимирович
- КРАСНЫХ** преподаватель Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбург (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [oda@urtisi.ru](mailto:oda@urtisi.ru)  
Сергей Юрьевич
- КУАНЫШЕВ** кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики и физики Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбург (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [kvt@urtisi.ru](mailto:kvt@urtisi.ru)  
Валерий Таукенович
- КУВАЕВ** кандидат технических наук, сотрудник Академии федеральной службы охраны (ФСО) Российской Федерации, г. Орёл, Россия, [litva@list.ru](mailto:litva@list.ru)  
Валерий Олегович
- КУСАЙКИН** кандидат технических наук, доцент кафедры многоканальной электросвязи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбург (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [Kusaykin@mail.ru](mailto:Kusaykin@mail.ru)  
Дмитрий Вячеславович
- ЛЕВИКОВ** студент Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбург (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [gurulevnikov@yandex.ru](mailto:gurulevnikov@yandex.ru)  
Артём Андреевич
- ЛУШКИН** сотрудник Академии федеральной службы охраны (ФСО) Российской Федерации, г. Орёл, Россия, [kochergin5.t@yandex.ru](mailto:kochergin5.t@yandex.ru)  
Иван Дмитриевич
- МАГОМЕДОВ** сотрудник Академии федеральной службы охраны (ФСО) Российской Федерации, г. Орёл, Россия, [kochergin5.t@yandex.ru](mailto:kochergin5.t@yandex.ru)  
Саид Абдулхудаевич
- МАЛКОВА** старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных

- Ирина Андреевна технологий и мобильной связи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [mia@urtisi.ru](mailto:mia@urtisi.ru)
- МЕХТИЕВ** студент Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [zaurmekhtiev420@gmail.com](mailto:zaurmekhtiev420@gmail.com)
- Заур Алиевич
- НИКИТИН** кандидат технических наук, доцент, начальник лаборатории ФГУП НИИР-ЛОНИИР Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия, [yuriyan@list.ru](mailto:yuriyan@list.ru)
- Юрий Александрович
- НИКИТЕНКО** доктор экономических наук, профессор, академик Национальной Академии наук (НАН) Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь, [nikitenkopetr2@mail.ru](mailto:nikitenkopetr2@mail.ru)
- Петр Георгиевич
- НОСОВ** кандидат технических наук, сотрудник Академии федеральной службы охраны (ФСО) Российской Федерации, г. Орёл, Россия, [nosovm@mail.ru](mailto:nosovm@mail.ru)
- Максим Васильевич
- ОВЧИННИКОВ** старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий и мобильной связи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, Россия, [oda@urtisi.ru](mailto:oda@urtisi.ru)
- Дмитрий Александрович
- ПЛЕХАНОВ** методист научно-исследовательской лаборатории «Интернет вещей и самоорганизующиеся сети» Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, Россия, [saveli3898@gmail.com](mailto:saveli3898@gmail.com)
- Савелий Михайлович
- РАГОЗИН** кандидат технических наук, доцент ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет)» (ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ)), г. Челябинск, Россия, [ragozinan@susu.ru](mailto:ragozinan@susu.ru)
- Андрей Николаевич
- РИЕКСТЫНЬ** студент Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, Россия, [vladrie@tuta.io](mailto:vladrie@tuta.io)
- Владислав Ярославович
- РОГОЖНИКОВ** кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой телекоммуникаций и основ радиотехники Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия, [evgenii.v.rogozhnikov@tusur.ru](mailto:evgenii.v.rogozhnikov@tusur.ru)
- Евгений Васильевич
- РОДЬКИН** сотрудник Академии федеральной службы охраны (ФСО) Российской Федерации, г. Орёл, Россия, [niks24@mail.ru](mailto:niks24@mail.ru)
- Никита Ильич
- САВЕНКО** ассистент Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия, [kirill.savenko@tusur.ru](mailto:kirill.savenko@tusur.ru)
- Кирилл Валерьевич
- САЛИФОВ** кандидат технических наук, доцент кафедры

- Ильнур Ильдарович многоканальной электрической связи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, Россия, [mec@urtisi.ru](mailto:mec@urtisi.ru)
- СИНЕЛЬНИКОВ** директор ТОО «GeoComm», г. Караганда, Казахстан, [antll@mail.ru](mailto:antll@mail.ru)  
Анатолий Анатольевич
- СИТНИКОВА** студентка Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, Россия, [anastasyasitnikova00@mail.ru](mailto:anastasyasitnikova00@mail.ru)  
Анастасия Александровна
- СЫРОПЯТОВ** методист лаборатории «Интернет вещей и самоорганизующиеся сети» Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, Россия, [sdv@urtisi.ru](mailto:sdv@urtisi.ru)  
Денис Владимирович
- ТАИРОВ** студент Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, Россия, [vitaly.tairov@mail.ru](mailto:vitaly.tairov@mail.ru)  
Виталий Ренатович
- ТУПИЦЫН** студент Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, Россия, [kaillytop@gmail.com](mailto:kaillytop@gmail.com)  
Константин Михайлович
- ТЫЧИНКИН** аспирант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, Россия, [tychinkins@gmail.com](mailto:tychinkins@gmail.com)  
Сергей Алексеевич
- ЧИСТЯКОВ** сотрудник Академии федеральной службы охраны (ФСО) Российской Федерации, г. Орёл, Россия, [irishadubtsova@yandex.ru](mailto:irishadubtsova@yandex.ru)  
Виктор Максимович
- ШЕСТАКОВ** старший преподаватель кафедры многоканальной электрической связи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, Россия, [ivansche2007@rambler.ru](mailto:ivansche2007@rambler.ru)  
Иван Игоревич
- ШУВАЛОВ** доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Новосибирск, Россия, [shvp04@mail.ru](mailto:shvp04@mail.ru)  
Вячеслав Петрович
- ЮРЧЕНКО** старший преподаватель кафедры многоканальной электросвязи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия, [jena23@mail.ru](mailto:jena23@mail.ru)  
Евгения Владимировна



**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ  
THE AUTHORS INDEX**

Аникеева А.Е.	152	Красных С.Ю.	64,96,102,107,124
Аникеева М.Е.	152	Куанышев В.Т.	15
Анохин А.А.	90	Куваев В.О.	118
Баранов С.А.	64,96,102,107	Кусайкин Д.В.	164
Белоусов А.С.	6	Левиков А.А.	69
Белых П.Е.	124	Лушкин И.Д.	75
Брагин К.И.	128	Магомедов С.А.	75,138
Будылдина Н.В.	6,61,113,145	Малкова И.А.	64
Букрина Е.В.	10	Мехтиев З.А.	124
Бурумбаев Д.И.	10	Никитенко П.Г.	160
Вощенко А.Н.	15	Никитин Ю.А.	80,85,132
Глазырин Е.В.	20	Носов М.В.	118
Глебец А.Л.	24	Овчинников Д.А.	64,69,90,96,102,107,124
Гниломедов Е.И.	29,32	Плеханов С.М.	113
Головлев М.О.	35	Рагозин А.Н.	24,35,46
Горлов Н.И.	41	Риекстынь В.Я.	124
Давыдова Н.В.	169	Рогожников Е.В.	57
Дроздова В.Г.	128	Родькин Н.И.	118
Ефимов М.Д.	46	Савенко К.В.	57
Зацепин В.А.	149	Салифов И.И.	20
Зеленцов Б.П.	51	Синельников А.А.	15
Иванов В.О.	169	Ситникова А.А.	90
Иванов Ю.Н.	169	Сыропятов Д.В.	61
Калмыкова Д.Д.	51	Таиров В.Р.	124
Каменсков А.Е.	164	Тупицын К.М.	149
Кваша Д.Ю.	160	Тычинкин С.А.	128
Квиткова И.Г.	51	Чистяков В.М.	138
Кондрашов Д.А.	57	Шестаков И.И.	32
Коридзе А.Н.	141	Шувалов В.П.	141
Коробицын И.В.	61	Юрченко Е.В.	145