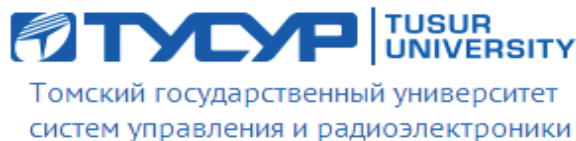




УРАЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
СВЯЗИ  
И ИНФОРМАТИ



СИБИРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
И ИНФОРМАТИКИ



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

При поддержке Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС),  
Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),  
Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОГНИТИВНАЯ ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ

Сборник научных трудов VI Всероссийской научно-  
практической конференции

Екатеринбург  
2020

**УДК 378**

**ББК 74.58 + 32.88-01**

Информационные технологии и когнитивная электросвязь: Тезисы докладов VI Всероссийской научно-практической конференции. - Екатеринбург: УрТИСИ СибГУТИ, 2020. – 162 с.

В сборник включены тезисы докладов, выполненных в рамках VI 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, вошедших 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 перечень журналов РИНЦ.

**Оргкомитет конференции:** Будылдина Надежда Вениаминовна – зав. кафедрой ОПД ТС УрТИСИ СибГУТИ, к.т.н.; Кусайкин Дмитрий Вячеславович – доцент кафедры МЭС УрТИСИ СибГУТИ, к.т.н.; Волынская Анна Владимировна - начальник Управления обеспечения образовательного процесса УрГУПС, к.т.н.; Черезов Григорий Анатольевич – зав. кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на ж.д. транспорте» УрГУПС, к.т.н., доцент; Рогожников Евгений Васильевич – доцент кафедры 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»; Попова Ксения Юрьевна – декан РТФ, зав. кафедрой Телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУР, к.ф.-м.н.

**Редколлегия конференции:**

Председатель- Шувалов Вячеслав Петрович – профессор кафедры передачи дискретных сообщений и метрологии СибГУТИ, д.т.н.;

Члены редколлегии: Поршнева Сергей Владимирович – профессор кафедры ОПД ТС УрТИСИ СибГУТИ, д.т.н., профессор; Будылдина Надежда Вениаминовна – зав. кафедрой ОПД ТС УрТИСИ СибГУТИ, к.т.н., доцент; Кусайкин Дмитрий Вячеславович – доцент кафедры МЭС УрТИСИ СибГУТИ, к.т.н.; Карачарова Марина Петровна – начальник методического отдела УрТИСИ СибГУТИ; Волынская Анна Владимировна - начальник Управления обеспечения образовательного процесса УрГУПС, к.т.н., доцент; Черезов Григорий Анатольевич – зав. кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на ж.д. транспорте» УрГУПС, к.т.н., доцент; Рогожников Евгений Васильевич – доцент кафедры 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»; Попова Ксения Юрьевна – декан РТФ, зав. кафедрой Телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУР, к.ф.-м.н.

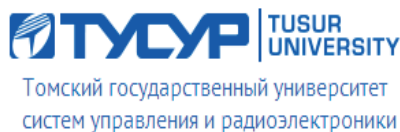
**Ответственный секретарь конференции:** Карачарова Марина Петровна, контактный телефон: (343)242-09-26, электронная почта [kmp@urtisi.ru](mailto:kmp@urtisi.ru)

**Партнёры:**

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)



СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

<b>А.В. Бизяев, Д.В. Кусайкин</b> Обзор методов распознавания формата модуляции сигнала в системах передачи информации.....	5
<b>М.С. Евдокимов, О.А. Обвинцев, Т.А. Бурина</b> Недостатки CAPTCHA для пользователей.....	10
<b>А. О. Горай, Н.В. Будылдина</b> Исследование подхода к аппроксимации спектра мощности фрактального Гауссовского шума.....	13
<b>Ю.О. Гусева, Н.В. Будылдина</b> Позиционирование с помощью метода DISTANCE VECTOR-HOP в беспроводной сенсорной сети.....	17
<b>Д.Д. Калмыкова, В.П. Шувалов</b> Энергетическая эффективность сетей доступа.....	22
<b>И.Г. Квиткова</b> Анализ задачи метрологического обеспечения процессов производства и эксплуатации ВОЛС.....	26
<b>З.М. Кенжегулова, Е.Б. Черникова, А.М. Заболоцкий</b> Аналитические выражения для вычисления временного отклика двух последовательно соединенных отрезков связанных линий при согласовании по выходу.....	29
<b>А.Е. Максимов, И.А. Онищенко, С.П. Куксенко</b> Адаптивное учащение сетки при анализе линий передачи методом моментов.....	34
<b>И.Н. Микишев, Н.В. Будылдина</b> Исследование скорости обучения нейронной сети при решении задачи нахождения глобального минимума функции.....	37
<b>А.Н. Земцов, А.А. Турицын, Чан Зунг Хань</b> Организация безопасного взаимодействия филиалов кредитной организации.....	42
<b>В.П. Шувалов, И.Г. Квиткова</b> Техничко-экономический анализ пассивных оптических сетей доступа большого радиуса действия.....	45
<b>Д.А. Овчинников, С.А. Баранов</b> Практический опыт конструирования антенны Спираль Архимеда.....	50
<b>А.Ю. Дерр, В.Т. Куанышев</b> Предназначение и устройство вибрационных волоконно-оптических средств обнаружения.....	54
<b>К.Б. Уткин, В.Т. Куанышев</b> Методы позиционирования радиоэлектронных средств связи (РЭС) стандарта DMR (Digital Mobile Radio) внутри производственных площадей промышленного предприятия.....	58
<b>Е.В. Юрченко, Н.В. Будылдина</b> Система распределения горизонтального взаимодействия для многосервисных компьютерных сетей.....	62
<b>В.П. Шувалов, И.Г. Квиткова</b> К вопросу о качестве работы устройств мониторинга пассивных оптических сетей доступа.....	66
<b>А.С. Нифонтова, В.С. Кутенин</b> Моделирование сетей связи.....	71
<b>Е.С. Рудометова, В.Т. Куанышев</b> Расчет передаточной функции X-ответвителя в режиме нелинейной токовой петли.....	74
<b>К.А. Батенков, В.Ю. Головачёв, С.В. Чистяков</b> Возможности моделирования телекоммуникационных сетей с помощью программного обеспечения RIVERBED.....	78
<b>К.А. Батенков</b> Исследование множеств подграфов телекоммуникационной сети различной связности.....	80
<b>И.В. Богачков, А.И. Александрова (Трухина)</b> Влияние изгибов оптических волокон на бриллюэновские рефлектограммы.....	83
<b>И.В. Богачков, Н.А. Комисарчук, Л.В. Шарафутдинова</b> Определение разновидностей оптических волокон по бриллюэновским рефлектограммам.....	89
<b>И.В. Богачков, И.Б. Тугов</b> Основы обнаружения несанкционированного доступа к оптическим волокнам.....	94
<b>И.В. Богачков, Л.В. Шарафутдинова, Н.А. Комисарчук</b> Программа для анализа характеристик оптических волокон по бриллюэновским рефлектограммам.....	98

<b>Н.И. Горлов, В.Е. Кушнин</b> Метод мониторинга информационной безопасности волоконно-оптической линии связи.....	103
<b>Н.И. Горлов, И.В. Богачков</b> Прогнозирование показателей надежности физического канала оптических сетей доступа неразрушающими методами.....	107
<b>Д.А. Трофимов, В.С. Кутенин</b> Организация файлового сервера.....	110

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

<b>Г.А. Красулин, Н.В. Будылдина</b> Сети SDN.....	114
<b>С.А. Бездверный</b> Некоторые технические аспекты студенческого звукового вещания в ХИИК.....	122
<b>Т.А. Бурина, М.С. Евдокимов, Л.И. Долинер</b> Преимущества использования ЧАТ-БОТА в университете.....	126
<b>С.В. Поршнев, А.П. Сухоев</b> Многосердцевинные оптические волокна для увеличения пропускной способности волоконно-оптических сетей связи.....	129
<b>Р.И. Хурматов, И.В. Соловаров, Н.В. Будылдина</b> Имитационная модель для исследования характеристик сети MPLS-TP.....	134
<b>И.В. Коровин, К.И. Брагин</b> Перспективы развития беспроводных сетей связи на примере технологии LIGHT FIDELITY (LI-FI).....	137
<b>А.Н. Егорова, М.А. Феофанов</b> Методы визуализации данных с помощью PYTHON.....	141
<b>Р.Ю. Чукаева</b> Преимущества современной системы релейно-процессорной централизации типа ЭЦ-МПК-У.....	144
<b>Шарлаимова В.В.</b> Кодирование станционных рельсовых цепей в системе ЭЦ-МПК-У.....	148

## **СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

<b>Д.С. Романенко, Е.А. Русакова, В.А. Пискулин</b> Создание сетей широкополосного доступа на инфраструктуре ОАО «РЖД» на базе технологии LTE.....	152
--	-----

<b>КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</b>	158
<b>АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ</b>	162

А.В. Бизяев, Д.В. Кусайкин

## ОБЗОР МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ФОРМАТА МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИЙ

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

Ключевые слова: модуляция, сигнальное созвездие, распознавание вида модуляции, нейросети, карты Кохонена.

В статье представлены основные методы автоматического цифрового распознавания модуляций сигнала, в том числе: метод распознавания по сигнальному созвездию и его улучшенная версия, использующая карты Кохонена; метод распознавания с помощью кумулянтов высокого порядка; нейросетевой метод. Проведен обзор работ, содержащих описание результатов исследований этих методов, а также их сравнительный анализ.

A.V. Bizyaev, D.V. Kusaykin

## OVERVIEW OF METHODS FOR RECOGNIZING THE TYPE OF SIGNAL MODULATION IN INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS

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

Keywords: modulation, signal constellation, recognition of the type of modulation, neural network, Kohonen map.

The article presents the basic methods of automatic digital recognition of signal modulations, including: the signal constellation recognition method and its improved version using Kohonen cards; recognition method using high-order cumulants; neural network method. A review of the works containing a description of the research results of these methods, as well as their comparative analysis, is carried out.

Передача сигнала в системах связи всегда сопровождается помехами и искажениями, которые вносит среда передачи. Для минимизации помех применяют различные подходы, в том числе используют различные форматы модуляции, которые имеют разную помехоустойчивость. За всю историю телекоммуникаций было придумано множество видов модуляций. На первых порах человечеству хватало аналоговых систем, разнообразие модулированных сигналов в которых было не столь велико. С развитием технологий на смену аналоговой модуляций пришла цифровая, которая позволила значительно увеличить пропускную способность и дальность передачи систем связи.

В современных системах формат модуляции может меняться даже в течение одного сеанса связи. В связи с этим возникла необходимость в создании системы автоматического распознавания формата модуляции. Решение задачи автоматической классификации форматов цифровой модуляций необходимо для улучшения качества передачи, решения проблем электромагнитной совместимости, применения концепции когнитивного радио и т.д. [1].

Решение задачи автоматического распознавания форматов цифровой модуляций является промежуточным этапом между обнаружением сигнала и демодуляцией.

На сегодняшний день существует три подхода автоматического распознавания вида модуляции:



- с помощью сигнального созвездия (разработана улучшенная версия этого метода за счет использования карт Кохонена);
- с использованием моментов и кумулянтов высокого порядка;
- нейросетевой метод [2].

В основе первого метода лежит построение созвездия, в котором информационными параметрами являются амплитуда и фаза сигнала. На рисунке 1 представлены созвездия для разных форматов модуляций.

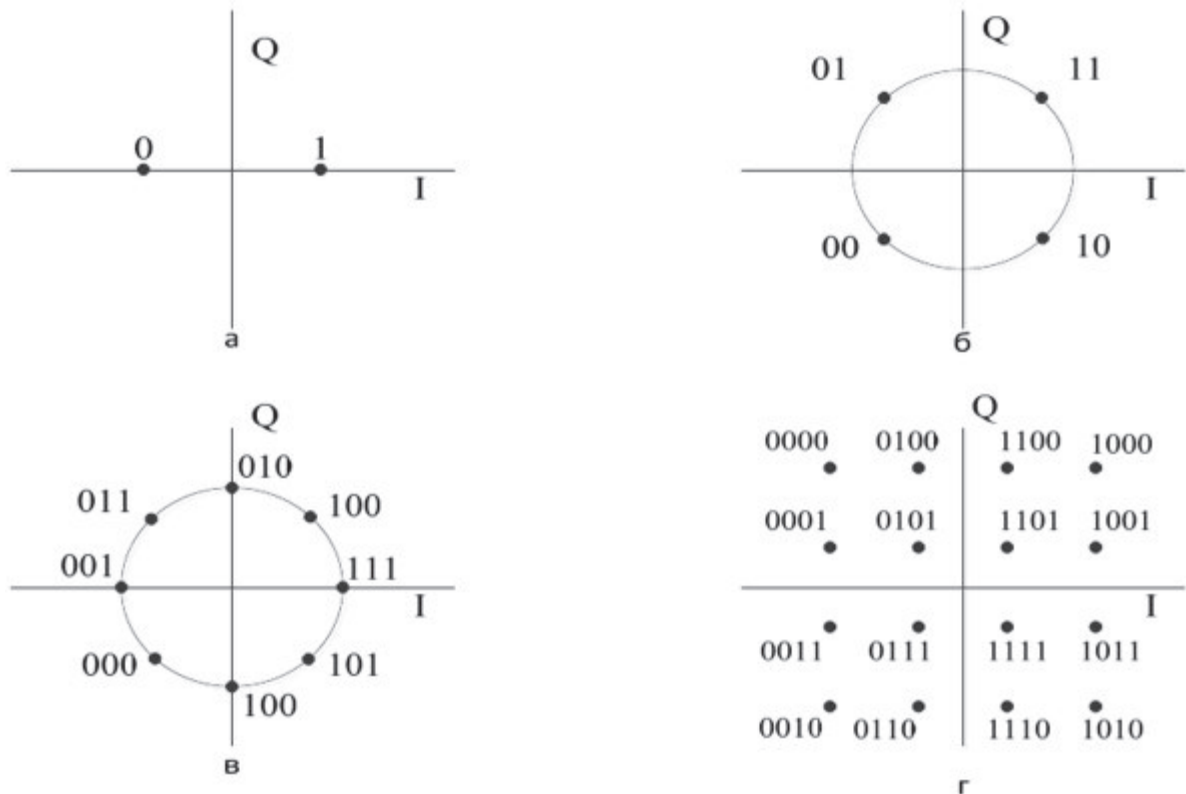


Рис. 1. Примеры идеальных сигнальных созвездий разных видов модуляций: а – амплитудная; б, г – квадратурная амплитудная модуляция порядка 4, 16 соответственно; в – APSK модуляция

Так выглядят идеальные созвездия, но при воздействии шума, амплитудных и фазовых флуктуаций точки векторных диаграмм начинают смещаться со своих положений, что может затруднить распознавание сигнала. Поэтому точки векторной диаграммы, полученного зашумленного модулированного сигнала необходимо упорядочить и разнести по однородным группам (кластеризировать). Для этого используются так называемые алгоритмы к-средних и с-средних. Эти два алгоритма усредняют полученные  $n$  значений до  $m$  кластеров. Относят измерения к тем или иным кластерам по принципу ближайшего по расстоянию до точки кластера. Расстояние рассчитывается по формуле Евклидова расстояния.

Отличие этих двух алгоритмов в том, что алгоритм с-средних показывает вероятность принадлежности измерения к какому-либо кластеру. После получения измерений можно восстановить исходное созвездие.

Главным минусом данных алгоритмов является то, что они требуют знания того, сколько будет кластеров, а это далеко не всегда возможно в условиях модуляций сигналов. Эту проблему решает улучшенный алгоритм кластеризации с помощью самоорганизующихся карт Кохонена [3].

Карта Кохонена – это одна из подразновидностей нейронных сетей. Эта нейронная сеть для обучения использует неконтролируемое обучение. Каждый элемент входных данных соединяется с каждым нейроном сети, число которых равно максимальному числу кластеров. Каждый нейрон имеет свой вес и свое значение координаты, что значительно увеличивает

необходимую для обработки вычислительную мощность [4].

Обучение этой нейронной сети производится с помощью алгоритма SOM, который представляет из себя коррекцию весов нейронов в следующей последовательности. Сначала случайно выбирается вектор параметров. Затем исходя из этого определяется нейрон-победитель, который обладает ближайшим значением к выбранному вектору. Последним этапом производится корректировка весов, но не по ожидаемому параметру в конце, а по признакам входных данных.

Данный метод, как уже говорилось выше, требует высокой вычислительной мощности. Также на качество распознавания влияет точность синхронизации приемника по несущей частоте [3].

Следующим методом определения вида модуляций является метод с помощью кумулянтов высокого порядка.

Кумулянт, как известно, из курса теории вероятности – это коэффициенты из разложения логарифма характеристической функций в ряд Маклорена:

$$\ln \theta(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{C_k (ix)^k}{k!} \quad (1)$$

где  $\theta(x)$  – характеристическая функция сигнала;

$C_k$  – кумулянт разложения логарифма характеристической функций;

$k$  – порядок кумулянта;

$i$  – мнимая единица.

Определения вида модуляций таким способом является статистическим. Главным плюсом этого метода является то, что он более невосприимчив к растройке по несущей частоте и к шуму чем остальные методы [5].

Суть данного метода заключается в том, что функция сигнала представляется в виде вектора. В таком случае у сигнала появляется мнимая составляющая, которая является сопряженным сигналом. Затем коэффициенты в ряду Маклорена представляются я в виде совместных моментов.

Как видно из работы [6] значения этих коэффициентов для разных типов модуляций различные. Также в работе доказано, что для каждого вида модуляций целесообразнее использовать кумулянты разных порядков.

Таким образом, задача распознавания модуляций заключается в подборе кумулянтов нужного порядка. Также в этой работе рассчитаны практические значения для каждого кумулянта, что позволяет без препятственно решать эту задачу с помощью иерархического подхода (рис. 2).

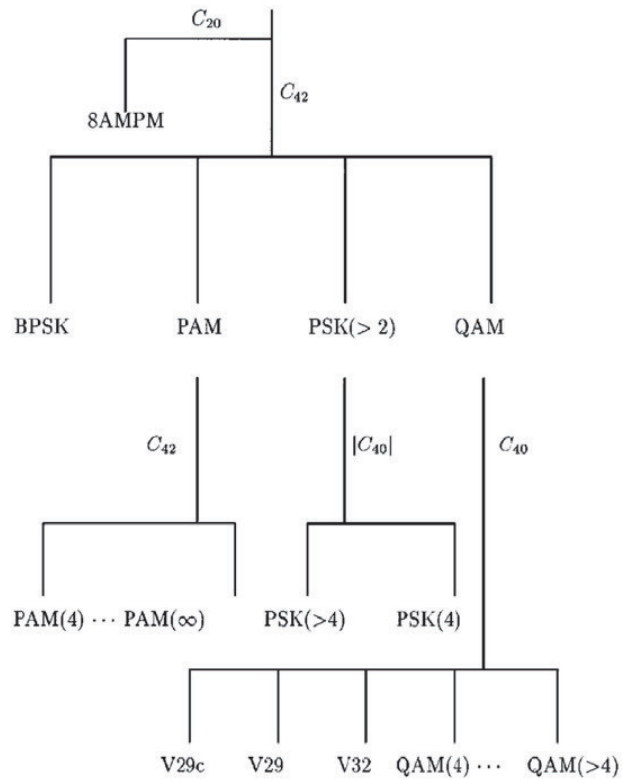


Рис. 2. Значение кумулянтов для определенного вида модуляций

Главным минусом этого метода является не восприимчивость к FSK модуляций так как решение для PSK и FSK лежат в одной области. Этот минус можно решить с помощью оценки распределения мгновенных фаз:

$$\Delta p(nT) = p(nT) - p((n-l)T) \quad (2)$$

где  $\Delta p(nT)$  – разница мгновенных значений фаз;

$p(nT)$  – фаза в момент времени  $nT$ ;

$p((n-l)T)$  – фаза в момент времени  $(n-l)T$ .

Затем можно создать интеллектуальное программное обеспечение, которое бы рассчитывало кумулянты и классифицировало сигнал по видам модуляций.

Альтернативой всем вышеперечисленным методам является определение вида модуляций с помощью интеллектуальной нейронной сети. Решение задачи с помощью нейронной сети отличается своей многофункциональностью и гибкостью, а также невосприимчивостью к расстройке по несущей частоте. С помощью нейронной сети можно также улучшить любой из вышеперечисленных методов.

Главными задачами при построении нейронной сети для решения распознавания вида модуляций это определиться со статистическими параметрами, с помощью которых нейронная сеть будет отличать один вид модуляций от другого, а также количеством нейронов и слоев и функций активаций в сети.

В работе [7] для распознавания вида модуляций применяются несколько статистических параметров в основе которых лежит особенности изменений мгновенных значений характеристик сигнала. Например, с помощью максимального значения спектральной плотности мощности мгновенной амплитуды сигнала:

$$\gamma_{\max} = |DFT(A_{cn}(t_i))|^2 \quad (3)$$

где  $\gamma_{\max}$  – максимальное значение спектральной плотности мощности нормально-



центрированной мгновенной амплитуды принимаемого сигнала;

DFT – дискретное преобразование Фурье;

$A_{cn}(t_i)$  – значения нормально-центрированной мгновенной амплитуды в моменты времени  $t_i$ .

В работе [8] в качестве таких информативных признаков используются кумулянты 2-4 порядка. Нейронная сеть, рассмотренная в этой работе, была оснащена 14 нейронами на скрытом слое и функцию активаций в виде сигмоиды:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (4)$$

Обучалась она методом обратного распространения ошибки с объемом выборки в 930 сигналов и с 500 циклами обучения. При таких параметрах сеть распознавала сигнал в 93 случаях из 100.

Минусом данного метода является то, что качество распознавания зависит во многом от количества нейронов и коэффициентов обучения, которые в основном определяются экспериментальным образом.

### Заключение

Анализ методов распознавания цифровой модуляции показал, что при отсутствии знаний о несущей частоте и некоторой расстройке лучше всего работают статистические методы, такие как кумулянтный анализ и нейросетевой. Нейросетевой метод во многом является развитием других базовых подходов, основанных например на кумулянтах или на мгновенных характеристиках сигнала.

### Литература

1. *Antti-Veikko Rosti*. Statistical methods in modulation classification: Tampere university of technology department of information technology, 1999. 13 с.
2. *Дам Ван Ньить*. Нейросетевые технологий в задаче автоматического распознавания видов цифровой модуляций: Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук. Москва.: МФТИ, 2018. 17-22 с.
3. *Аджемов С.С., Стогов А.А., Терешонок М.В., Чиров Д.С., Иванкович М.В.* Алгоритм распознавания вида цифровой модуляций сигнала по форме фазового созвездия с использованием самморганизующихся карт Кохонена // Технологий информационного общества: материалы VI международной отраслевой научно-технической конференций, Москва, 18 января. 2012 г.М.: МГУСИ, 2012. С. 4 – 6.
4. *Четвериков Г.Г., Лесовец Т.В., Касала О.В.* Искусственные нейронные сети как метод интеллектуального анализа данных в финансовых системах // Бионика интеллекта. 2008. N 1. С. 153-157.
5. *Маслов А.А., Сотникова М.В.* Определение радиотехнических параметров фазоманипулированных сигналов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019 Т. 15, № 1 С. 107-114.
6. *Стогов А.А., Терешонок М.В., Чиров Д.С.* Распознавание видов модуляций радиосигналов с использованием моментов высокого порядка // Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. 2012. № 1. С. 56 – 58.
7. *Аджемов С.С., Кленов Н.В., Терешонок М.В., Чиров Д.С.* Методы распознавания видов цифровой модуляций сигналов в когнитивных радиосистемах // ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2015. N 6. С. 3 – 7.
8. *Аджемов С.С., Терешонок М.В., Чиров Д.С.* Распознавание видов цифровой модуляций радиосигналов с использованием нейронных сетей // ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2015. N 1. С. 3 – 5.

## НЕДОСТАТКИ САРТЧНА ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

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

Ключевые слова: САРТЧНА; Google; тест Тьюринга; недостатки; UX.

САРТЧНА – акроним от выражения «полностью автоматический публичный тест Тьюринга, для различения компьютеров и людей».

В данной статье рассмотрены недостатки САРТЧНА, которые существуют на данный момент:

- Сложные изображения;
- Необходимость точного ввода распознанных символов;
- Необходимость многократного выполнения сложного решения при неверно введенной САРТЧНА;
- Использование пользователя в маркетинговой рекламе без его ведома;
- САРТЧНА не учитывает индивидуальные особенности пользователей;
- Повешение требования к компьютерной грамотности клиента.

САРТЧНА скрывает в себе большое количество недостатков, но от нее не так просто отказаться, так как она выполняет качественную защиту от бот-атак. Однако, для повышения удобства ее использования требуется устранение ее основных недостатков.

M.S. Evdokimov, O.A. Obvintsev, T.A. Burina

## CAPTCHA DISADVANTAGES FOR USERS

Urals Technical Institute of Communication and Computer Sciences (Branch) FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: CAPTCHA; Google; Turing test; disadvantages; UX.

CAPTCHA is an acronym for the "fully automatic Turing public test designed to distinguish between a person and a computer."

This article discusses the shortcomings of CAPTCHA that currently exist:

- Complex images;
- The need for accurate recognized characters;
- The need to repeatedly reproduce a complex solution with an incorrectly performed CAPTCHA;
- Use of the user in marketing advertising without his knowledge;
- CAPTCHA does not take into account the individual characteristics of users;
- Hanging client computer literacy requirements.

CAPTCHA conceals a large number of shortcomings, but it is not so easy to refuse it, since it provides high-quality protection against bot attacks. However, to improve the convenience of its use requires the elimination of its main disadvantages.

САРТЧНА – акроним от выражения «полностью автоматический публичный тест Тьюринга, для различения компьютеров и людей».

В начале 2000-х CAPTCHA представляла собой набор простых изображений с текстом и этого было достаточно, чтобы остановить большинство спам-ботов, которые использовались в коммерческих или мошеннических целях.

Прошло много времени, и после того, как компания Google купила программу у исследователей из Университета Карнеги-Меллона и использовала её для оцифровки книг в проекте Google Books, из-за чего распознавание символов стало более легкой задачей. CAPTCHA приходилось всё сильнее изменять и скрывать, чтобы опережать стремительно улучшающиеся программы распознавания символов.

Таким образом, к настоящему моменту времени CAPTCHA имеет следующие недостатки.

- Сложные изображения, для распознавания которых от человека требуется слишком большое напряжение глаз и работы мысли, а иногда приходится делать несколько запросов на смену CAPTCHA в надежде получить более понятное изображение. Стэнфордский институт в своем исследовании говорит о том, что в среднем, для людей участвующих в эксперименте необходимо было 3,8 секунды (рисунок 1), для успешного распознавания и прохождения визуальной CAPTCHA и 28,4 секунды для аудио CAPTCHA [1].

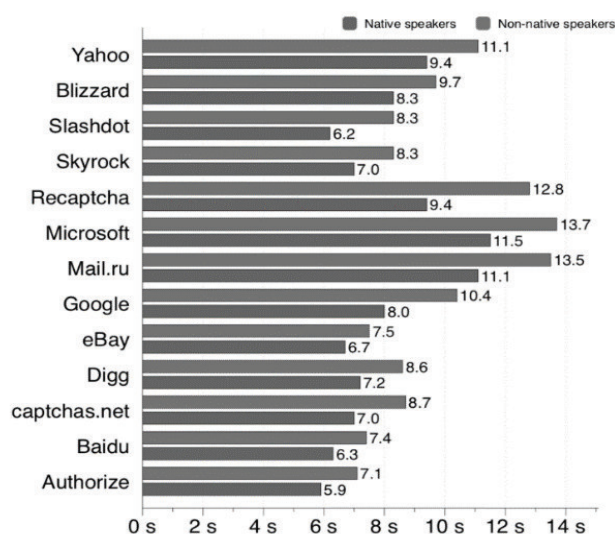


Рисунок 1 – Время распознавания визуальной CAPTCHA разных компаний

- Необходимость точного ввода распознанных символов, для успешного прохождения часто необходимо не только точно определить в каком регистре находится та или иная буква, но и без ошибки ввести ее, что для человека становится сложным. Baymard Institute проводящий различные исследования на тему UX, в 2018 году подсчитали, что пользователи не могут пройти визуальные CAPTCHA примерно в 8 % случаев. Эта цифра достигает 29 %, если CAPTCHA чувствительна к регистру [3].

- Необходимость многократного выполнения сложного решения при неверно введенной CAPTCHA. Эта функциональность заставляет пользователя выполнять лишние действия, требующие значительных усилий. Особенно наглядно эта проблема проявляется, если при неправильном вводе решения перезагружается вся страница целиком: например, если пользователь долго набирал длинный набор символов, а потом он пропал при неверном решении. Процент вероятности того, что человек начнет все заново, не очень велик.

- Использование пользователя в маркетинговой рекламе без его ведома. На рынке существуют несколько «капч-решений», которые размещают внутри «капчи» рекламу, например, они предлагают собрать головоломку из логотипа компании. Это не может не сказаться на степени настроения пользователя в худшую сторону.

- CAPTCHA не учитывает индивидуальные особенности пользователей. Работа с ней очень неудобна для людей с нарушениями координации или проблемами со зрением, и даже для тех, кто не различает цвета.

- Повешение требований к компьютерной грамотности клиента. CAPTCHA особенно раздражает “возрастную” аудиторию и ту, где есть большой процент людей с низким уровнем компьютерной грамотности или незнанием английского языка.

CAPTCHA скрывает в себе большое количество недостатков, но от нее не так просто отказаться, так как она выполняет качественную защиту от бот-атак. Однако, для повышения удобства ее использования требуется устранение ее основных недостатков.

#### Литература

1. E. Bursztein and S. Bethard. Decaptcha: Breaking 75% of eBay audio CAPTCHAs. In WOOT, 2009.
2. J. Yan and A. S. El Ahmad. A low-cost attack on a Microsoft CAPTCHA. In CCS, 2008.
3. Y. Soupionis and D. Gritzalis. Audio CAPTCHA: Existing solutions assessment and a new implementation for VoIP telephony. *Computers & Security*, 29(5):603–618, 2010.
4. Why Captchas have gotten so difficult [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.theverge.com/2019/2/1/18205610/google-captcha-ai-robot-human-difficult-artificial-intelligence> (20.04.2020)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДА К АППРОКСИМАЦИИ СПЕКТРА МОЩНОСТИ ФРАКТАЛЬНОГО ГАУССОВСКОГО ШУМА

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

Ключевые слова: самоподобный трафик, параметр Херста, фрактальный Гауссовский шум.

В последнее время начали развиваться сети с коммутацией пакетов. Многочисленные исследования показывают, что трафик в таких сетях проявляет свойства самоподобия. На основе моделей самоподобного/фрактального трафика было показано, что он применим к другим моделям сетевого трафика. Это создает новые проблемы для генерации синтетического трафика. В статье рассматривается генерация самоподобного трафика.

A. O. Goray, N.V. Budyldina

## STUDY OF THE APPROACH TO APPROXIMATING THE POWER SPECTRUM OF FRACTAL GAUSSIAN NOISE

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO “Siberian State University of Telecommunications and Informatics” in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: self-similar traffic, Hurst parameter, fractal Gaussian noise.

Recently, packet-switched networks have begun to develop. Numerous studies show that traffic in such networks exhibits self-similarity properties. Based on self-similar/fractal traffic models, it has been shown to be applicable to other network traffic models. This creates new problems for the generation of synthetic traffic. The article discusses the generation of self-similar traffic.

### Введение

Последние несколько десятков лет, активно начали развиваться сети с коммутацией пакетов. Многочисленные исследования показывают, что трафик в таких сетях проявляет свойства самоподобия, то есть помимо зависимости от времени, самоподобный трафик имеет зависимость и от предыдущих событий.

В сетях Ethernet исследования в области самоподобных процессов начал Бенуа Б. Мандельброт, он определял самоподобие как геометрическое подобие каждой из частей некоторой формы целому.

Исследования других различных типов трафика так же показало, что он является самоподобным или, как его называют еще, фрактальным. Существуют параметры и формулы, которые описывают самоподобность трафика. Параметр Херста является одним из таких.

В последнее время на моделях самоподобного/фрактального трафика было показано, что он применим к другим моделям сетевого трафика. Это создает новые проблемы для статического вывода и стохастического моделирования, генерации синтетического трафика. Эта статья посвящена самоподобной генерации трафика.

Чтобы изучить генерацию синтетических последовательностей нужно смоделировать сетевой трафик. Сгенерированные последовательности должны быть схожи характеристиками с измеренным трафиком.

Линейное приближение может быть использовано для определения спектра мощности фрактального Гауссовского шума (ФГШ), а также оно уменьшает сложность вычислений без ущерба точности синтеза спектра мощности ФГШ.

Трафик данных является основным компонентом компьютерных сетей связи, а модели трафика имеют решающее значение для оценки их эффективности. На практике стохастические

модели потоков трафика имеют отношение к проектированию производительности сетевого трафика. А сетевой трафик, в свою очередь, является основным компонентом сетей массового обслуживания.

В последнее время понятие самоподобия применяется к различным видам трафика, включая трафик глобальной компьютерной сети (WAN) и локальной (LAN).

Так как, традиционные модели трафика ориентированы на очень ограниченный диапазон временных интервалов и зависит, по своей природе, от ближнего расстояния, то фактический трафик показывает корреляции в широком диапазоне за промежутков времени и зависит от больших расстояний.

Для моделирования самоподобного процесса чаще всего используются две математические модели: фрактальный Гауссовский шум и модель Бокса-Дженкинса.

#### Генерация самоподобного трафика

В этой статье рассмотрен подход использования фрактального Гауссовского шума для генерации самоподобного сетевого трафика.

Спектр мощности Фрактального Гауссовского шума описывается как:

$$f(\lambda, H) = A(\lambda, H)[|\lambda|^{-2H-1} + B(\lambda, H)] \quad (1)$$

Где  $H$  – параметр Херста и может принимать значения от 0 до 1;  $\lambda$  – дискретная частота,  $-\pi \leq \lambda \leq \pi$  [2].

$$A(\lambda, H) = 2 \sin(\pi H) * \Gamma(2H + 1)(1 - \cos \pi)$$

$$B(\lambda, H) = \sum_{k=1}^{\infty} [(2\pi k + \lambda)^{-2H-1} + (2\pi k - \lambda)^{-2H-1}] \quad (2)$$

Подход для генерации фрактального Гауссовского шума (ФГШ) с использованием быстрого преобразования Фурье. Предположим, что спектр мощности процесса ФГШ известен в (1). Далее построим последовательность комплексных чисел, соответствующую этому спектру мощности. Обратное преобразование Фурье может быть использовано для получения последовательности временной области. Основная сложность этого подхода заключается в точном вычислении  $f(\lambda, H)$  [6].

Как видно из уравнения (2), расчет из спектра мощности подразумевает вычисление бесконечного суммирования.

Проанализируем условия суммирования.

Каждое слагаемое в уравнении (2) является функцией индекса суммирования  $k$  и дискретной частоты  $\lambda$ . Обычно  $\lambda$  принимает дискретные значения от 0 до  $\pi$ . Количество частотных выборок зависит от длины трассы. Рассмотрим первое слагаемое в уравнении (2). Оно уменьшается по мере того, как  $k$  уходит в бесконечность. Фактически, для больших значений  $k$  этот член остается примерно постоянным для всех значений  $\lambda$  в диапазоне  $0 \leq \lambda \leq \pi$ .

Уравнение (2) требует большого количества вычислений и его сходимость зависит от значения параметра Херста ( $H$ ).  $B_n$  является бесконечным суммированием, но можно использовать и частичное суммирование.  $B_{10}$  означает что используются 10 значений для оценки суммирования (то есть,  $k=1, 2, \dots, 10$ ).

На рисунке 1 показано, что первые несколько значений уравнения при  $k = 1, 2$ , заметно отличаются от значений последовательности, где значение  $k$  больше. При  $H=0,9$  суммирование для  $k= 1$  и  $2$ , то есть значение  $B_2=0,93$ . А для  $H=0,6$ ,  $B_2= 0,85$ . Графики были получены при  $\lambda=\pi/2$ . При использовании других значений  $\lambda$  были получены результаты близкие по значению к данным.



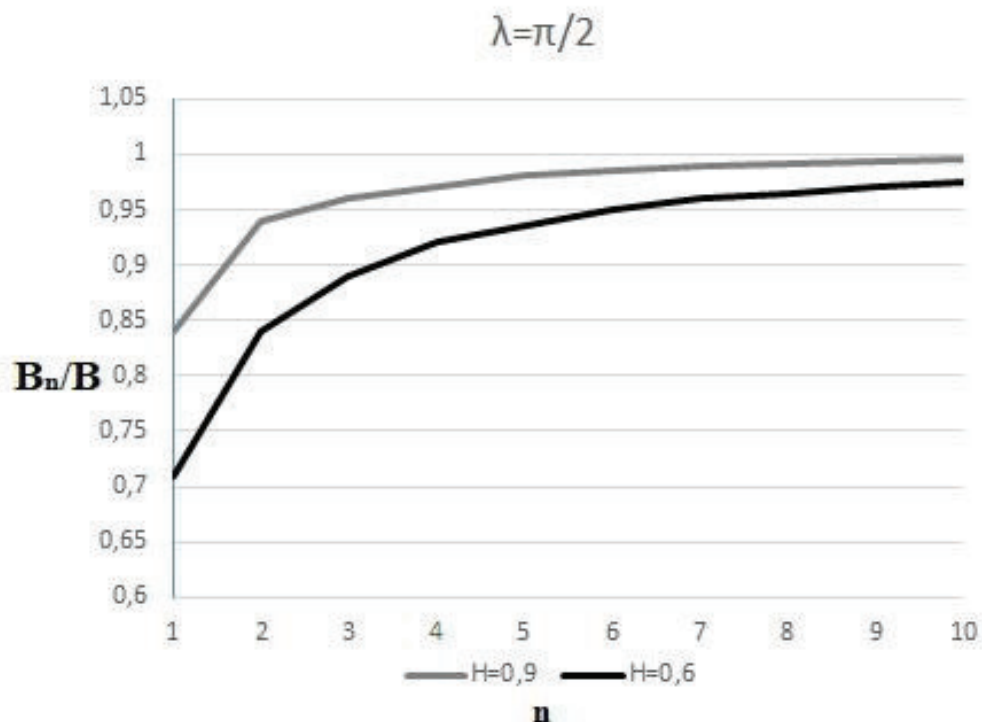


Рис 1. Зависимость  $V_n$  от  $k$ .

Простой анализ показывает, что функция  $V$  при значениях  $k$   $[2; \infty]$ , является почти линейной функцией от  $\lambda$ . Поскольку сложение линейных функций так же является линейной функцией, то можно использовать линейное приближение для оценки суммы слагаемых в уравнении (2). Поэтому предполагается, что при использовании линейного приближения не будут учитываться значения функции  $V$  при  $k=1$  и  $k=2$ .

Был разработан новый подход к аппроксимации спектра мощности Фрактального Гауссовского шума. Он был так же сравнен и с другими подходами для генерации самоподобного трафика [6].

Таблица 1. Время генерирования самоподобной последовательности, в секундах [11].

Длина	Метод, предложенный в статье	Метод Паксона	Метод Хоскинга
65,536	5	7	5,826
131,072	10	12	24,152
262,144	22	24	104,214
524,288	45	45	440,361
1,048,576	94	260	Слишком большое число
2,097,152	259	659	Слишком большое число

Сравнивалась скорость вычислений при генерации самоподобного на основе модели Бокса-Дженкинса (дробного авторегрессированного скользящего среднего (F-ARIMA)), метод Паксона, метод Хоскинга. В таблице 1 представлено время работы этих методов при генерации самоподобных последовательностей.

Из таблицы 1 видно, что метод, описываемый в данной статье, является самым быстрым, а метод Хоскинга самый медленный, а метод Паксона использует двойные векторные операции, а значит требует больше времени для вычислений и больше места в памяти.

## Вывод

В этой статье изучен подход к аппроксимации спектра мощности фрактального Гауссовского шума. Чтобы справиться с бесконечным суммированием спектральной плотности ФГШ, были вычислены первые два слагаемых уравнения и аппроксимирован остаток суммирования с использованием линейной функции. Был сделан вывод, что подход является самым быстрым в скорости вычислений, среди предложенных методов моделирования и выбранный подход гарантирует генерацию самоподобного трафика с высокой степенью точности [11].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger, and D. V. Wilson*, "On the selfsimilar nature of ethernet traffic (extended version)," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol.2, pp.1–15, Feb. 1994.
2. *S. B. Lowen and M. C. Teich*, "Fractal renewal processes generate  $1=f$  noise," *Physical Review E*, vol.47, pp.992–1001, Feb. 1993.
3. *B. Mandelbrot*, "Long-run linearity, locally Gaussian process, H-spectra and infinite variances," *International Economic Review*, vol.10, pp.82–111, Feb. 1969.
4. *B. B. Mandelbrot and J. R. Wallis*, "Computer experiments with fractional Gaussian noises-Part 1: Averages and variances," *Water Resources Research*, vol. 5, pp. 228–267, Feb. 1969.
5. *H. Michiel and K. Laevens*, "Teletraffic engineering in a broad-band era," *Proceedings of the IEEE*, vol.85, pp.2007–2033, Dec. 1997.
6. *V. Paxson*, "Fast, approximate synthesis of fractional Gaussian noise for generating selfsimilar network traffic," *Computer Communications Review*, vol.27, pp.5–18, Oct. 1997.
7. *V. Paxson and S. Floyd*, "Wide area traffic:The failure of Poisson modeling," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 3, pp. 226–244, June 1995.
8. *Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В.* "Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Монография" / Под ред. О.И.Шелухина - М.: Радиотехника, 2003.- 480 с.
9. *Norros I.* The Management of Large Flows of Connectionless Traffic on the Basis of Self-Similar Modeling // ICC '95, IEEE International Conference on Communications. – Seattle, 1995.
10. *W. Willinger, M. S. Taqqu, W. E. Leland, and D. V. Wilson*, "Self-similarity in high-speed packet traffic: Analysis and modeling of ethernet traffic measurements," *Statistical Science*, vol.10, pp.67–85, 1995.
11. *S. Ledesma and D. Liu*, "A fast method for generating self-similar network traffic," *WCC - ICCT. International Conference on Communication Technology Proceedings*. April, 2000.

## ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА DISTANCE VECTOR-HOP В БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

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

Ключевые слова: позиционирование, двумерная угловая латерация, Distance Vector-Hop, беспроводная сенсорная сеть.

В беспроводных сенсорных сетях позиционирование осуществляется на основе метода Distance Vector-Hop. Анализ точности определения местоположения, с помощью исследуемого метода, реализован на основе сформированного алгоритма, также включающего метод позиционирования двумерная угловая латерация.

J.O Guseva, N.V. Budyldina

## POSITIONING OF WIRELESS SENSOR NETWORK BY DISTANCE VECTOR-HOP METHOD

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: positioning, two-dimensional angular lateration, Distance Vector-Hop, Wireless Sensor Network.

The article considers the positioning based on Distance Vector-Hop method in Wireless Sensor Networks. Analysis of positioning accuracy is implemented based on the generated algorithm. The algorithm includes a two-dimensional angular lateration method.

### *Введение*

В настоящее время обеспечение услуги определения местоположения в помещении реализуется с помощью установки в некоторых сегментах сети или во всей сети специализированных датчиков. При рассмотрении процесса локального позиционирования стоит учитывать, что топология сети и радиокарта помещения неизвестна абонентскому устройству. В таком случае, для снижения погрешностей определяемых координат, с помощью специализированных методов, требуется равномерное покрытие сетевыми устройствами всей площади помещения. В данной статье исследуется алгоритм позиционирования в беспроводной сенсорной сети, включающий методы Distance Vector-Hop и двумерная угловая латерация.

### *Решение задачи позиционирования в беспроводной сенсорной сети*

В данном исследовании предлагается улучшить метод Distance Vector-Hop за счет использования сетевой топологии дерево и данных о местоположении сенсорных узлов. Тогда, снизиться погрешность конечного результата, вызываемая неточностью расчета расстояний до искомого местоположения абонентского устройства. Данный метод не позволяет вычислить координаты абонентского устройства напрямую. Для получения конечной информации о ранее неизвестном местоположении искомого узла, в данном исследовании, используется метод двумерной угловой латерации. В совокупности, использование вышеуказанных методов позволяет исключить неизвестные величины, не позволяющие выполнить расчет координат абонентского устройства за счет только одного из рассматриваемых методов.

Расстояние между сенсорным узлом и абонентским устройством определяется по формуле (1) [1]:

$$d_1 = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} + \sqrt{(x_1 - X_1)^2 + (y_1 - Y_1)^2} + \sqrt{(x_4 - x_1)^2 + (y_4 - y_1)^2}}{h(12) + h(11) + h(41)}, \text{ м} \quad (1)$$

где  $(x_i, y_i)$  – координаты сенсорного узла  $sn_i$ ;  $(X_j, Y_j)$  – координаты головного узла  $rn_j$ ;  $h(12)$  – расстояние хопа между сенсорным  $sn1$  и сенсорным  $sn2$  узлами, м;  $h(11)$  – расстояние хопа между головным  $rn1$  и сенсорным  $sn1$  узлами, м;  $h(41)$  – расстояние хопа между сенсорным  $sn1$  и сенсорным  $sn4$  узлами, м.

Расстояние между головным узлом и абонентским устройством определяется по формуле (2) [1]:

$$d_2 = \frac{\sqrt{(x_2 - X_1)^2 + (y_2 - Y_1)^2} + \sqrt{(x_1 - X_1)^2 + (y_1 - Y_1)^2}}{h(21) + h(11)}, \text{ м} \quad (2)$$

где  $h(21)$  – расстояние хопа между сенсорным  $sn2$  и головным  $rn1$  узлами, м.

Расстояние между сенсорным и головным узлами определяется по формуле (3):

$$d_1 = \frac{\sqrt{(x_1 - X_1)^2 + (y_1 - Y_1)^2}}{h(11)}, \text{ м} \quad (3)$$

Координаты местоположения абонентского устройства  $(x_{a\bar{b}}, y_{a\bar{b}})$  определяются по формулам (4) и (5):

$$x_{a\bar{b}} = x_1 + d_1 \times \frac{(d_1^2 + d_3^2) - d_2^2}{2 \times d_1 \times d_3} \quad (4)$$

$$y_{a\bar{b}} = y_1 + d_1 \times \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \quad (5)$$

Пояснение процесса расчета с помощью данных формул для кластера представлено на рис. 1.

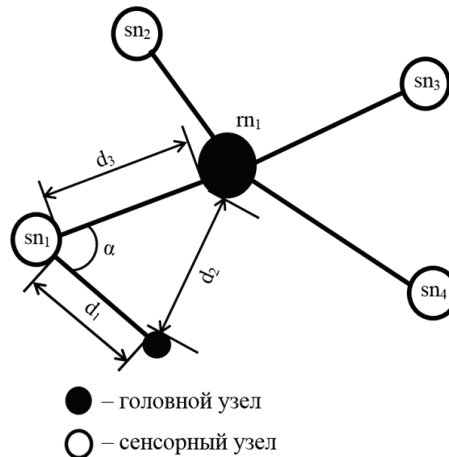


Рис. 1. Методы Distance Vector-Нор и двумерная угловая латерация на примере одного кластера

Данное исследование проводится при следующих начальных условиях:

- 1) Размер помещения составляет 100 метров на 100 метров;
- 2) Топология беспроводной сенсорной сети – дерево;

3) Радиус действия головных узлов – 50 метров, технология Wi-Fi; Количество головных узлов – 4 устройства и 4 кластера;

4) Радиус действия сенсорных узлов – 10 метров, технология Bluetooth 5.1; Количество сенсорных узлов – 100 устройств, по 25 мотов в кластере.

Сравним пять генерируемых случайным образом местоположений с результатами расчетов с помощью исследуемого алгоритма. Реальные местоположения устройства и расчетные сведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика генерируемых случайным образом местоположений абонентского устройства с расчетными

пыт	Координата x / Координата y	Расчетная координата x / Расчетная координата y	Погрешность, м	Удаленность от сенсорного узла, м
	87	86	1	1
	37	37	-	1
	45	42	3	4
	85	89	4	5
	57	56	1	1
	40	38	2	3
	48	43	5	6
	20	19	1	1
	86	84	2	3
	16	19	3	4

Координаты базовой станции беспроводной сенсорной сети и головных узлов представлены в табл. 2. Сенсорные узлы распределяются произвольно в кластере с установленными ограничениями. Ограничения обусловлены требованиями к радиочастотному планированию сети и предотвращают размещение двух и более узлов в радиусе четырех метров.

Таблица 2. Координаты базовой станции и головных узлов для беспроводной сенсорной сети

Узел	Координаты местоположения в беспроводной сенсорной сети
Базовая станция	(95,50)
Головной узел rn1	(25,20)
Головной узел rn2	(20,75)
Головной узел rn3	(75,30)
Головной узел rn4	(70,80)

Результат работы алгоритма, включающего сгенерированную беспроводную сенсорную сеть, сгенерированное и расчетное местоположения искомого узла, для первого опыта, представлен на рис. 2.

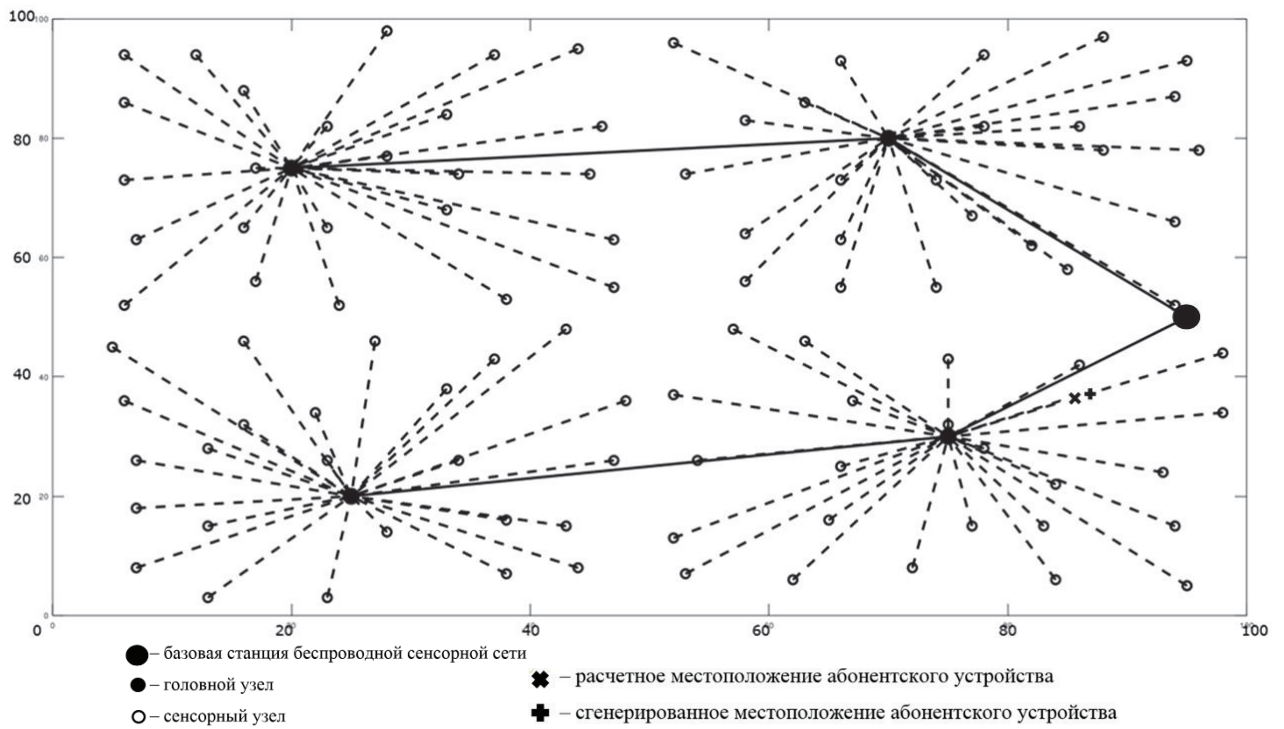


Рис. 2. Графический результат действия алгоритма

Как видно из табл. 1 и рисунка 2, и исходя из исследуемого алгоритма определения местоположения, точность вычисленных координат напрямую зависит от расстояния между искомым и сенсорным узлами. Погрешности в расчетных координатах варьируются в пределах удаленности абонентского устройства от сенсорного узла. Произвести наглядную оценку степени несоответствия данных, полученных расчетным путем, и сгенерированных местоположений позволит формирование траектории перемещения абонента в рассматриваемом помещении на основании двадцати случайных опытных измерений. Сравнительная характеристика генерируемого алгоритмом и расчетного путей представлена на рис. 3.

Анализируя рис.3 и учитывая данные таблицы с показателями по координатам, требуется выборочная корректировка полученных значений. Требованиям сантиметровой точности исследуемый алгоритм, основанный на методах Distance Vector-Нор и двумерная угловая латерация не удовлетворяет.

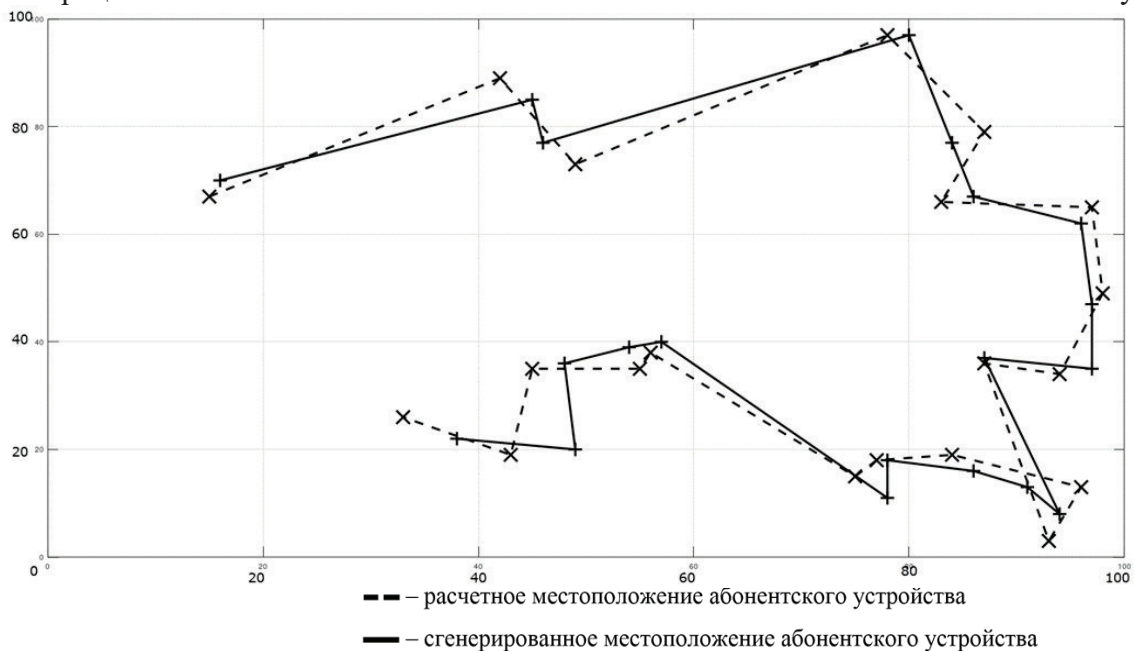


Рис. 3. Сравнительная характеристика генерируемого алгоритмом и расчетного путей



## *Заключение*

Распределение узлов в сенсорных сетях, как правило, предполагает неравное расстояние между ними. С точки зрения позиционирования это не позволяет с одинаковой точностью определять местоположения, так как данные о расстоянии между узлами будут отличными. При использовании метода Distance Vector-Hop, с целью достижения максимальной точности, требуется определенная плотность размещения сетевых узлов. Повышение точности расчетных показателей за счет увеличения плотности расположения узлов не представляется возможным из-за требований и ограничений радиочастотного планирования беспроводной сенсорной сети. Полученные опытным путем показатели, исследуемого процесса в условиях беспроводной сенсорной сети и используемых методов, являются результатами, не превышающими погрешность в более пяти метров. Для достижения наибольшей точности определения координат абонентского устройства, необходимо исследование или разработка других методов позиционирования в беспроводных сенсорных сетях. Таким образом, необходим поиск лучшей комбинации беспроводных технологий в сенсорной сети с учетом наилучших методов позиционирования относительно каждой из используемых инфраструктур.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lu Jian Yin*. A New Distance Vector-Hop Localization Algorithm Based on Half-Measure Weighted Centroid // Hindawi. Mobile Information Systems. V. 2019. 9 p.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕТЕЙ ДОСТУПА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: ядро сети, метро сеть, сеть доступа, энергоэффективность.

Потребление энергии ИКТ растет высокими темпами, поскольку количество компьютеров, сетей и коммуникационного оборудования увеличивается каждый год.

Телекоммуникационные сети составляют значительную часть ИКТ. С ростом объема трафика в телекоммуникационных сетях их потребление энергии также быстро растет. Если потребление энергии продолжит расти быстрыми темпами, дефицит энергии станет препятствием для будущего расширения ИКТ и телекоммуникационных сетей.

Поэтому крайне важно разрабатывать энергоэффективные сетевые решения. До недавнего времени исследователи в области телекоммуникаций, в основном, были сосредоточены на разработке сетей с оптимизированными ресурсами (такими как пропускная способность, стоимость и т. д.). С ростом потребления энергии, основной целью исследований становится создание технологий, способных повысить энергетическую эффективность коммуникационных сетей по сравнению с текущим уровнем.

D.D. Kalmykova, V.P. Shuvalov

## ENERGY EFFICIENCY OF ACCESS NETWORKS

Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education «Siberian State University of Telecommunications and Information Science» (SibGUTI), Russia

Keywords: core network, metro network, access network, energy efficiency.

ICT energy consumption is growing rapidly as the number of computers, networks and communications equipment is increasing every year.

Telecommunication networks make up a significant part of ICT. With the growth of traffic in telecommunication networks, their energy consumption is also growing. If energy consumption continues to grow rapidly, energy shortages will be an obstacle to the future expansion of ICT and telecommunications networks.

Therefore, it is extremely important to develop energy-efficient network solutions. Until recently, telecommunications researchers mainly focused on developing networks with optimized resources (such as bandwidth, cost, etc.). With increasing energy consumption, the main goal of research is the creation of technologies that can increase the energy efficiency of communication networks compared to the current level.

## ВВЕДЕНИЕ

Различают три составляющие телекоммуникационной системы сети: ядро, метро и доступ (рисунок 1). Оптические технологии играют важную роль в каждой из этих составляющих. Ядро сети охватывает большие площади, оптический кабель ядра сети перекрывает расстояния от нескольких сотен до нескольких тысяч километров, обеспечивая соединение между большими городами. Обычно в ядре телекоммуникационной сети используется ячеистая топология. Метро сеть используется для организации городских (зоновых) сетей, перекрывая дистанции от нескольких десятков до нескольких сотен километров. На сетях метро используется кольцевая топология. Сеть доступа соединяет конечных пользователей с сервис провайдерами, и она покрывает дистанции в несколько километров. Оптические сети доступа обычно базируются на топологии дерево.

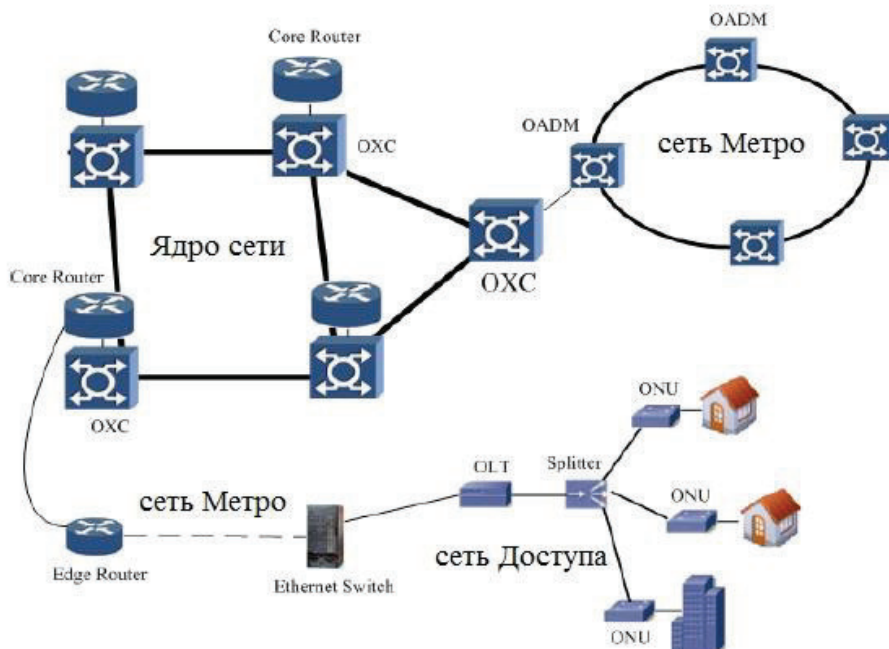


Рис. 1 – Телекоммуникационная система сети

Известно, что сети доступа вносят решающий вклад в общее потребление электроэнергии телекоммуникационными сетями [1]. Поэтому вопросы энергетической эффективности сетей доступа являются чрезвычайно важными и нашли свое место в ряде статей [2-4]. Проблематике энергоэффективности посвящены диссертации [1,5] и рекомендации международных организаций, таких как IEEE [6] и ITU [7].

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕТЕЙ ДОСТУПА

В соответствии с [8] обеспечение энергоэффективности осуществляется на четырех уровнях:

- уровне устройств (таких как оптические буферы, коммутаторы, конверторы длин волн и др.);
- уровне передачи (использование оптического волокна с малым затуханием и малой дисперсией, энергоэффективных оптических передатчиков и приемников);
- сетевом уровне (энергоэффективные механизмы выделения ресурсов, организации сетей доступа большого радиуса действия и др.);
- уровне приложений (механизмы, обеспечивающие энергоэффективную связность сети, такие как проксирование и подходы для облачных вычислений, предложенных для снижения потребления энергии).

Остановимся более детально на сетевом уровне. В дополнение к управлению ресурсами пропускной способности и длинами волн, рассматриваются последние (новые) изменения в предыдущих DBA и DWA алгоритмах, которые позволяют существенно уменьшить потребление энергии.

Предлагалось несколько подходов, обеспечивающих повышение энергоэффективности. Эти подходы основаны на изменениях в аппаратной части (физический уровень) или программной (канальный уровень) [9,10]. Как правило, физические подходы – это использование новых энергоэффективных оптических устройств, в то время как предложения в области канального уровня приводят к расширениям алгоритмов управления ресурсами, обеспечивающих выигрыш по снижению энергопотребления.

В соответствии с ITU Series-G Supplement 45 [11] предлагается четыре энергосберегающих метода в ONU. IEEE Std 802.az [12] использует режим ожидания с низким энергопотреблением в условиях отсутствия передачи пакетов.

## СТРАТЕГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Энергосберегающие стратегии касаются, прежде всего, ONU с использованием различных энергосберегающих режимов (отключение питания, дремлющий режим или режим сна) [11]. При отключении питания ONU происходит выключение второстепенных компонентов при полностью функционирующем канальном уровне. Дремлющий режим подразумевает отключение передатчика, в то время как приемник функционирует. Во время спящего режима отключаются как приемник, так и передатчик. Спящий режим активно исследуется. Основной проблемой этого режима является медленный переход из активного состояния в состояние сна и время, необходимое для пробуждения.

В зависимости от нагрузки трафика механизм сна снижает потребление энергии, переводя в режим отключения передатчик/приемник при снижении трафика ниже порога. Основная проблема – определение порогового значения трафика.

В [13] авторы предлагают режим сна и периодического пробуждения для ONU для снижения энергопотребления. OLT активирует или деактивирует ONU, в зависимости от наличия или отсутствия трафика. OLT определяет наличие или отсутствие трафика по данным мониторинга среднего интервала между кадрами.

В [14] авторы экспериментально продемонстрировали архитектуру ONU в спящем режиме, которая позволяет ONU переходить из спящего режима в активный режим в короткий промежуток времени с использованием схемы быстрого тактового восстановления и восстановления данных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Энергоэффективность в телекоммуникационных сетях является актуальной темой исследований, которая быстро завоевывает признание в исследовательском сообществе, мотивируя это стремлением к постоянно растущему потреблению энергии ИКТ. В этой статье представлен обзор наиболее актуальных стратегий энергосбережения, которые касаются, преимущественно ONU. Вопросы энергосбережения OLT не вызывают столь большого интереса ученых, но OLT потребляет больше энергии, чем ONU и, поэтому, нужно настолько, насколько это возможно снизить потребление энергии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Glenda Zafir Gonzalez Diaz*. Energy saving solutions for integrated optical wireless access networks [Электронный ресурс]. URL:[https://www.researchgate.net/publication/286464586\\_Energy\\_saving\\_solutions\\_for\\_integrated\\_optical-wireless\\_access\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/286464586_Energy_saving_solutions_for_integrated_optical-wireless_access_networks) (дата обращения: 20.02.2020).
2. *L. Valcarenghi, D. Pham Van, P. Castoldi*. How to Save Energy in Passive Optical Networks. [Электронный ресурс]. URL:[https://www.researchgate.net/publication/259229062\\_How\\_to\\_save\\_energy\\_in\\_Passive\\_Optical\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/259229062_How_to_save_energy_in_Passive_Optical_Networks) (дата обращения: 21.02.2020).
3. *Luca Valcarenghi, Dung Pham Van, Pier Giorgio Raponi, and Piero Castoldi, Scuola Superiore Sant'Anna Divanilson R. Campelo, Federal University of Pernambuco (UFPE) Shing-Wa Wong, She-Hwa Yen, and Leonid G. Kazovsky, Stanford University Shinji Yamashita, Fujitsu Laboratories Ltd*. Energy Efficiency in Passive Optical Networks: Where, When, and How? [Электронный ресурс]. URL:[https://www.researchgate.net/publication/259229572\\_Energy\\_Efficiency\\_in\\_Passive\\_Optical\\_Networks\\_Where\\_When\\_and\\_How](https://www.researchgate.net/publication/259229572_Energy_Efficiency_in_Passive_Optical_Networks_Where_When_and_How) (дата обращения: 21.02.2020).
4. *Luca Valcarenghi, Shing-Wa Wong, Divanilson R. Campelo, She-Hwa Yen, Shinji Yamashita, Pier Giorgio Raponi, Leonid Kazovsky, and Piero Castoldi*. Energy Efficiency in Optical Access Networks. [Электронный ресурс]. URL:<http://networking.disi.unitn.it/cavalese2011/papers/63.pdf> (дата обращения: 15.02.2020).
5. *Pulak Chowdhury*. Energy-Efficient Next-Generation Networks (E2NGN) [Электронный ресурс].

- URL: [https://www.semanticscholar.org/paper/Energy-efficient-next-generation-networks-\(e2ngn\)-Mukherjee-Chowdhury/61e89d46f4149c2d6161701ba6d358c3b7067491](https://www.semanticscholar.org/paper/Energy-efficient-next-generation-networks-(e2ngn)-Mukherjee-Chowdhury/61e89d46f4149c2d6161701ba6d358c3b7067491) (дата обращения: 16.02.2020).
6. IEEE. [Электронный ресурс]. URL:<https://www.ieee.org/> (дата обращения: 10.02.2020).
  7. About International Telecommunication Union (ITU). [Электронный ресурс]. URL:<https://www.itu.int/ru/about/Pages/default.aspx> (дата обращения: 10.02.2020).
  8. *Y. Zhang, P. Chowdhury, M. Tornatore, and B. Mukherjee*. Energy Efficiency in Telecom Optical Networks. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 12(4), 2010. P. 441-458.
  9. *A.R. Dhaini, Pin-Han Ho, and Gangxiang Shen*. Toward Green Next-generation Passive Optical Networks. *IEEE Communications Magazine*, 49(11), november 2011, P. 94-101.
  10. *L. Valcarenghi, D.P. Van, and P. Castoldi*. How to save energy in passive optical networks. In 13th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), june 2011, P. 1-5.
  11. G.Sup45 ITU-T. «GPON power conservation». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.Sup45/en> (дата обращения: 15.02.2020).
  12. IEEE 802.3az. IEEE Standard for Information Technology. Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Energy-Efficient Ethernet. 2010. [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5621025> (дата обращения: 15.02.2020).
  13. *R. Kubo, J. Kani, Y. Fujimoto, N. Yoshimoto, and K. Kumozaki*. Proposal and Performance Analysis of a Power-saving Mechanism for 10-Gigabit-class Passive Optical Network Systems. In Proc. Networks and Optical Conference (NOC), 2009. P. 87-94.
  14. *S. W. Wong, L. Valcarenghi, S. H. Yen, D.R. Campelo, S. Yamashita, and L. Kazovsky*. Sleep Mode for Energy Saving PONs: Advantages and Drawbacks. In IEEE GLOBECOM Workshops, 2009. P. 1-6.

## АНАЛИЗ ЗАДАЧИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЛС

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: волоконно-оптические линии связи, метрологическое обеспечение, измерение, достоверность измерительного контроля.

Точность измерений напрямую влияют на надежность сети связи, а также на качество предоставляемых услуг. В работе приведен обзор измерительных задач в процессе построения и эксплуатации ВОЛС. А также рассматривается актуальность вопросов требований к точности измерений объектов оптических систем связи и снижения затрат на реализацию метрологического обеспечения.

I.G. Kvitkova

## ANALYSIS OF METROLOGICAL SUPPORT PROBLEM OF THE PRODUCTION AND OPERATION PROCESSES OF FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES

Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education «Siberian State University of Telecommunications and Information Science» (SibGUTI), Russia

Keywords: fiber-optic communication lines, metrological support, measurement, reliability of measurement control.

The accuracy of measurements directly affects the reliability of the communication network, as well as the quality of services provided. This paper provides an overview of the measurement tasks in the process of building and operating a fiber optic network. It also considers the relevance of the issues of requirements for the accuracy of measurements of objects of optical communication systems and reducing the cost of implementing metrological support.

В отрасли связи в настоящее время существенно повысились требования точности измерений. Это связано с широким внедрением волоконно-оптических линий связи, обеспечивающих передачу большого объема информации. При оценке качества компонентов ВОЛС измеряются различные параметры, такие как уровни оптической мощности и затухания, возвратные потери и др. Для обеспечения работоспособности и соответствия проектным параметрам волоконно-оптических телекоммуникационных систем необходимо проводить множество измерений (системных и эксплуатационных), которые отличаются методикой и используемыми средствами измерений. [1]

Измерение и контроль проводятся как в процессе эксплуатации оптических сетей, так и на этапе построения ВОЛС. Первым этапом измерений при построении ВОЛС является входной контроль, включающий в себя измерение параметров и проверку целостности нового кабеля. Далее измерения осуществляются при монтаже оптической линии. После монтажа производится измерение затухания оптического волокна кабеля. И последний этап предусматривает приемосдаточные измерения, заключающиеся в выборочных измерениях параметров на соответствие норме. В процессе строительства ВОЛС также требуется проверка и калибровка используемых компонентов и средств связи. [2]

Перечисленные выше мероприятия требуют немалых материальных затрат. Однако они необходимы для обеспечения надёжности функционирования волоконно-оптических сетей в целом.

Для реализации измерений параметров оптических компонентов необходима реализация метрологического обеспечения, техническую основу которого и составляют средства



измерений и измерительные комплексы, предназначенные для контроля и оценки параметров элементов систем и сетей связи. [1]

При разработке метрологического обеспечения решаются следующие основные задачи [3, 4]: определение номенклатуры контролируемых параметров; формирование оптимальных требований к точности измерений; выбор или разработка методов выполнения измерений.

Оптимальные требования к точности измерений параметров объекта контроля определяются допустимыми значениями вероятностей ошибок первого и второго рода, характеризующих достоверность многопараметрического измерительного контроля, с учётом суммарных затрат на измерения.

Обобщённая модель измерений является аддитивной и представляется в виде:

$$Z_i = U_{ci} + Y_i, \quad (1)$$

где  $U_{ci}$  - истинное значение измеряемого параметра,  $Y_i$  - сумма систематической (неисключённой), мультипликативной и аддитивной случайных погрешностей.

Для оценки достоверности многопараметрического измерительного контроля при использовании обобщённой модели измерений необходимо определить плотность вероятности  $f(Y_i)$  суммарной погрешности. Это позволяет получить условную плотность вероятности  $p(Z_i/U_{ci})$  и при заданной априорной плотности вероятности измеряемого параметра  $f(U_{ci})$  определить совместную плотность вероятности, которая используется для расчёта средних ошибок первого и второго рода.

При измерительном контроле  $k$  из  $n$  параметров объекта в соответствии с правилом сложения для совместимых и взаимно независимых событий вероятности ошибок первого и второго рода определяются выражениями:

$$\alpha(k) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - \alpha_i), \quad (2)$$

$$\beta(k) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - \beta_i), \quad (3)$$

где  $\alpha_i, \beta_i$  - средние вероятности ошибок 1-го и 2-го рода при контроле  $i$ -го параметра соответственно.

Используя выражения для ошибок первого и второго рода, можно определить функцию суммарных затрат на измерения, потери качества измерений и на брак неконтролируемых параметров. Для приближенных расчетов рекомендована эмпирическая суммарная функция затрат на одно изделие, которая не учитывает допуски на параметры и статистические свойства контролируемых параметров и погрешностей измерения:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k C_i + K_{\alpha k} \alpha(k) + K_{\beta k} \beta(k) + C_B P_B, \quad (4)$$

где  $C_i$  - затраты на измерение  $i$ -го параметра одного изделия;  $K_{\alpha k}, K_{\beta k}$  - коэффициенты затрат (денежные эквиваленты) на потери из-за ошибок первого и второго рода;  $C_B$  и  $P_B$  - коэффициент затрат на брак и вероятность брака по неконтролируемым параметрам соответственно.

Первое слагаемое в (4) определяется как произведение коэффициента затрат на получение одного бита информации при измерении одного параметра и количества информации (в битах), получаемое при измерении  $i$ -го параметра для измерительного канала с аддитивной гауссовой погрешностью.

В данном случае в суммарную погрешность входит равномерно распределённая

систематическая погрешность. Поэтому даётся нижняя оценка для количества информации, поскольку гауссова погрешность является наихудшей аддитивной погрешностью с точки зрения пропускной способности измерительного канала.

Затраты на контроль изделия зависят от первоначальных затрат на приобретение измерительных установок и других средств измерений, на их обслуживание при эксплуатации, а также от стоимости нормативного времени на выполнение контрольной операции. Затраты на измерения имеют убывающий характер в зависимости от СКО погрешности измерений. В свою очередь, потери в зависимости от вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода, а также вероятности брака, при увеличении погрешностей измерения возрастают, что и обеспечивает минимум суммарных затрат.

Используемая модель функции затрат позволяет учесть требования к измеряемым параметрам, реальные статистические свойства этих параметров и всех составляющих погрешностей измерений.

Приведённые результаты можно использовать при разработке метрологического обеспечения на этапе проектирования элементов и систем ВОЛС, проведении метрологической экспертизы технической документации, а также при решении задачи оптимизации измерительного контроля в процессе эксплуатации компонентов оптических сетей. [5, 6]

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Хромой Б.П., Железнов Д.Б.* Выбор измерительного комплекса для контроля параметров оптических компонентов сети // Сборник трудов XIII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». (20-21 марта 2019 г. Москва, МТУСИ). М.: ИД Медиа Паблицер, 2019. Том 1. С. 26-27.
2. *Хромой Б.П., Утетлеу Б.* Выбор измерительного комплекса для построения волоконно-оптических линий связи // Сборник трудов XIII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». (20-21 марта 2019 г. Москва, МТУСИ). М.: ИД Медиа Паблицер, 2019. Том 1. С. 94-96.
3. РМГ 63-2003. ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации. М.: Изд-во стандартов, 2004. 16 с.
4. ГОСТ Р 8.563 - 2009. ГСИ. Методики (методы) измерений. М.: Стандартинформ, 2010. 27 с.
5. *Квиткова И.Г.* Некоторые вопросы метрологического обеспечения продукции / *И.Г. Квиткова, В.И. Серых, Ю.А. Пальчун* // Метрология. 2010. N 9. С. 35-44.
6. *Квиткова И.Г.* Достоверность измерительного контроля с учётом требований к показателям точности измерений / *И.Г. Квиткова, В.И. Серых, Ю.А. Пальчун* // Измерительная техника. 2011. N 6. С. 12-15.

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ОТКЛИКА ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ОТРЕЗКОВ СВЯЗАННЫХ ЛИНИЙ ПРИ СОГЛАСОВАНИИ ПО ВЫХОДУ**

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

Ключевые слова: связанная линия, мода, коэффициент отражения, согласование, аналитические выражения, временной отклик.

В статье получены аналитические выражения для вычисления временного отклика двух последовательно соединенных отрезков связанных линий передачи при согласовании по выходу с помощью П- схемы. Для подтверждения результатов выполнено сравнение временных откликов, полученных при помощи квазистатического моделирования и аналитических выражений.

Целью данной статьи является вычисление временных откликов двух последовательно соединенных отрезков линии передачи посредством аналитических выражений.

**Z.M. Kenzhegulova, E.B. Chernikova, A.M. Zabolotsky**

**ANALYTICAL EXPRESSIONS FOR CALCULATING A TIME RESPONSE OF TWO SERIES-CONNECTED SEGMENTS OF COUPLING LINES WITH THE OUTPUT OF LINES MATCHING**

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

Keywords: coupled line, mode, reflection coefficient, matching, analytical expressions, time response.

Analytical expressions are obtained for calculating a time response of two cascaded segments of coupled transmission lines with matching at the output using P- circuit. To confirm the results, we compared time responses using quasistatic simulation and analytical expressions

The purpose of this article is to calculate the time responses of two cascaded segments transmission lines using analytical expressions.

В настоящее время для передачи сигналов в радиоэлектронных средствах (РЭС) широко применяются связанные линии передачи. При их использовании уменьшается влияние электромагнитных помех (ЭМП) и улучшается быстродействие элементов РЭС. Однако в связанных линиях могут возникать перекрестные помехи из-за взаимной емкости и индуктивности. Кроме того, в данных линиях сигналы могут искажаться из-за влияния помех отражения. В связи с этим возникает необходимость в компьютерном моделировании на начальных стадиях разработки и проектировании РЭС. Для более детального анализа волновых процессов в межсоединениях в структурах и выявления причин искажения форм сигнала используют аналитические подходы.

Известны аналитические выражения, выполненные методом модального разложения, с использованием модальных источников воздействий и коэффициентов отражения [1]. На основании данных выражений разработаны алгоритмы для вычисления форм сигнала двухпроводной линии передачи [2]. Выполнен анализ коэффициентов отражения мод связанной линии, согласованной с помощью П- и Т- схем в дифференциальных и синфазных режимах в [3]. Между тем представляется возможным вычислить временные отклики двух последовательно соединенных отрезков связанных линий посредством аналитических выражений. Таким образом, цель данной работы – выполнить такое исследование.

В матрицах электростатической (**C**) и электромагнитной (**L**) индукций для симметричных связанных линий коэффициенты  $L_{11}=L_{22}$  и  $C_{11}=C_{22}$  равны. Следовательно, матрицы преобразований мод по напряжению и току имеют вид (1) [4]:

$$\mathbf{T}_V = \begin{bmatrix} 1 & 0,5 \\ 1 & -0,5 \end{bmatrix}, \mathbf{T}_I = \begin{bmatrix} 0,5 & 1 \\ 0,5 & -1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

На рис. 1 представлена схема с источниками изначально падающих мод и коэффициенты отражения для двух последовательно соединенных отрезков связанных линий. Данная схема дает наглядное представление о параметрах прохождения синфазной и дифференциальной моды вдоль линии в любой момент времени, а также их взаимовлияние друг на друга [1].

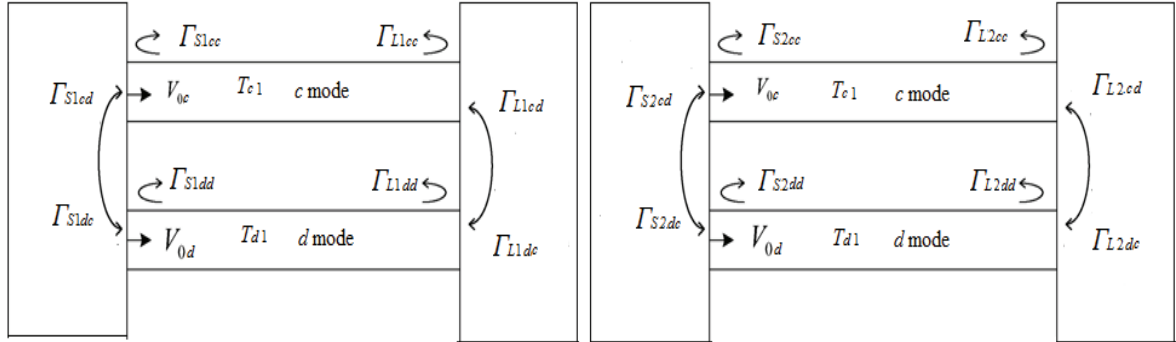


Рис. 1 - Схема распространения мод и коэффициентов отражения для двух последовательных отрезков связанных линий

Матрица модальных импедансов с П-образной нагрузкой с учетом мод на дальнем конце ( $\mathbf{R}_{Lm}$ ) линии передачи принимают вид (2):

$$\mathbf{R}_{Lm} = \begin{bmatrix} 0,5 \cdot Z_{even} & 0 \\ 0 & 2 \cdot Z_{odd} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Где  $Z_{even}$  – характеристический импеданс для четной моды, а  $Z_{odd}$  – нечетной.

Диагональные матрицы для **L** и **C** (3) вычисляются как (3):

$$\begin{aligned} \mathbf{L1}_m &= \mathbf{T}_V^{-1} \mathbf{L1} \mathbf{T}_I, \mathbf{C1}_m = \mathbf{T}_I^{-1} \mathbf{C1} \mathbf{T}_V, \\ \mathbf{L2}_m &= \mathbf{T}_V^{-1} \mathbf{L2} \mathbf{T}_I, \mathbf{C2}_m = \mathbf{T}_I^{-1} \mathbf{C2} \mathbf{T}_V. \end{aligned} \quad (3)$$

Характеристический импеданс (4):

$$\mathbf{Z1}_{cm} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{L1_{m1}}{C1_{m1}}} & 0 \\ 0 & \sqrt{\frac{L1_{m2}}{C1_{m2}}} \end{bmatrix}, \mathbf{Z2}_{cm} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{L2_{m1}}{C2_{m1}}} & 0 \\ 0 & \sqrt{\frac{L2_{m2}}{C2_{m2}}} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Матрицы модальных коэффициентов отражения для первого и второго отрезков находится как (5):

$$\begin{aligned} \Gamma_{S1} &= (\mathbf{R}_{Sm} \mathbf{Z1}_{cm}^{-1} + \mathbf{E})^{-1} (\mathbf{R}_{Sm} \mathbf{Z1}_{cm}^{-1} - \mathbf{E}), \\ \Gamma_{L1} &= (\mathbf{Z2}_{cm} \mathbf{Z1}_{cm}^{-1} + \mathbf{E})^{-1} (\mathbf{Z2}_{cm} \mathbf{Z1}_{cm}^{-1} - \mathbf{E}), \\ \Gamma_{S2} &= (\mathbf{Z1}_{cm} \mathbf{Z2}_{cm}^{-1} + \mathbf{E})^{-1} (\mathbf{Z1}_{cm} \mathbf{Z2}_{cm}^{-1} - \mathbf{E}), \\ \Gamma_{L2} &= (\mathbf{R}_{Lm} \mathbf{Z2}_{cm}^{-1} + \mathbf{E})^{-1} (\mathbf{R}_{Lm} \mathbf{Z2}_{cm}^{-1} - \mathbf{E}), \end{aligned} \quad (5)$$

где **E** – единичная матрица.

В результате получены аналитические выражения для вычисления форм напряжения двух последовательно соединенных отрезков связанной линии в начале (6) и в конце (7):

$$\begin{aligned} \mathbf{V}(0,t) &= \mathbf{V}_c(t) m \mathbf{V}_d(t) / 2 = \\ & \left\{ \mathbf{V}_{0c}(t) - \mathbf{V}_{0d}(t) / 2 \right\} \pm \left\{ \Gamma_{Ldd} \Gamma_{Scd} - \Gamma_{Ldd} (1 + \Gamma_{Sdd}) / 2 \right\} \mathbf{V}_{0d}(t - 2T_d) \pm \\ & \pm \left\{ \Gamma_{Ldc} \Gamma_{Scd} - \Gamma_{Ldc} (1 + \Gamma_{Sdd} / 2) \right\} \mathbf{V}_{0c}(t - (T_d + T_c)) \pm \\ & \pm \left\{ \Gamma_{Lcd} (1 + \Gamma_{Scc}) - \Gamma_{Lcd} \Gamma_{Sdc} / 2 \right\} \mathbf{V}_{0d}(t - (T_d + T_c)) \left. \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{V}(1,t) &= \mathbf{V}_c(t) m \mathbf{V}_d(t) / 2 = \\ & \left\{ \Gamma_{Lcd} m (1 + \Gamma_{Ldd} / 2) \right\} \mathbf{V}_{0d}(t - T_d) + \\ & + \left\{ (1 + \Gamma_{Lcc}) m \Gamma_{Ldc} / 2 \right\} \mathbf{V}_{0c}(t - T_c), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\mathbf{V}_{0c}$ ,  $\mathbf{V}_{0d}$  – векторы источника синфазной и дифференциальной мод;  $\Gamma_{Ldd}$ ,  $\Gamma_{Scd}$ ,  $\Gamma_{Sdd}$ ,  $\Gamma_{Ldc}$ ,  $\Gamma_{Lcd}$ ,  $\Gamma_{Sdc}$ ,  $\Gamma_{Lcc}$ ,  $\Gamma_{Scc}$ ,  $\Gamma_{Scc}$  – элементы матрицы коэффициентов отражения в начале (S) и в конце (L) линии;  $T_c$ ,  $T_d$  – время распространения синфазной и дифференциальной мод.

Далее для проверки точности разработанных аналитических выражений (6–7) выполнено квазистатическое моделирование в системе TALGAT [5] на импульсное воздействие сигнала с общей длительностью  $t_s=150$  пс и амплитудой ЭДС 1 В, при длине отрезков  $l_1=l_2=0,3$  м.

В качестве апробации выбрана связанная микрополосковая линия передачи, поперечное сечение которой представлено на рис. 2 а, а принципиальная схема двух последовательно соединенных отрезков линии передачи с П-образной схемой согласования на концах – на рис. 2 б, где  $V_0$  – источник входного сигнала,  $R_{S1}$ ,  $R_{S2}$  – сопротивление в начале линии, а  $R_{L1}$ ,  $R_{L2}$ ,  $R_{L3}$  – в конце линии.

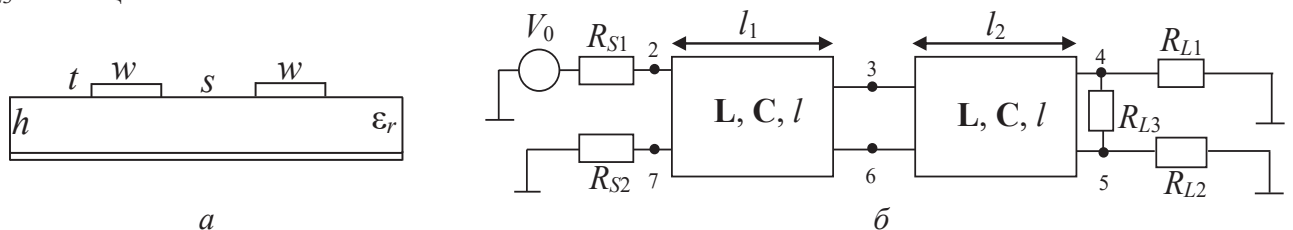
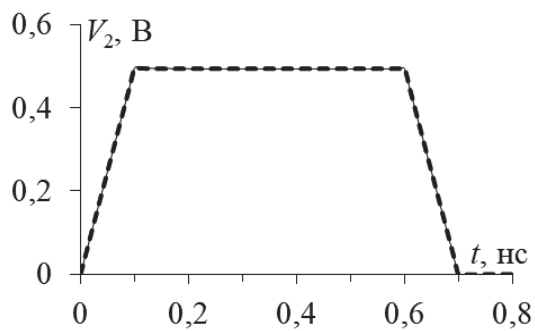


Рис. 2 - Поперечное сечение (а) и принципиальная схема (б) двух последовательно соединенных отрезков двухпроводной линии передачи с П-образной схемой согласования по выходу

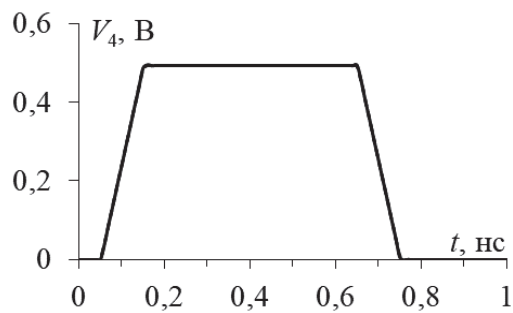
Матрицы электростатической и электромагнитной индукции  $\mathbf{C}_1$ ,  $\mathbf{C}_2$ , пФ/м,  $\mathbf{L}_1$ ,  $\mathbf{L}_2$ , нГн/м для первого и второго отрезков соответственно:

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_1 &= \begin{bmatrix} 1,737 & -0,073 \\ -0,073 & 1,737 \end{bmatrix} \text{ пФ/м}, \quad \mathbf{L}_1 = \begin{bmatrix} 4,276 & 0,529 \\ 0,529 & 4,276 \end{bmatrix} \text{ нГн/м}. \\ \mathbf{C}_2 &= \begin{bmatrix} 1,749 & -0,144 \\ -0,144 & 1,749 \end{bmatrix} \text{ пФ/м}, \quad \mathbf{L}_2 = \begin{bmatrix} 4,264 & 0,756 \\ 0,756 & 4,264 \end{bmatrix} \text{ нГн/м}. \end{aligned}$$

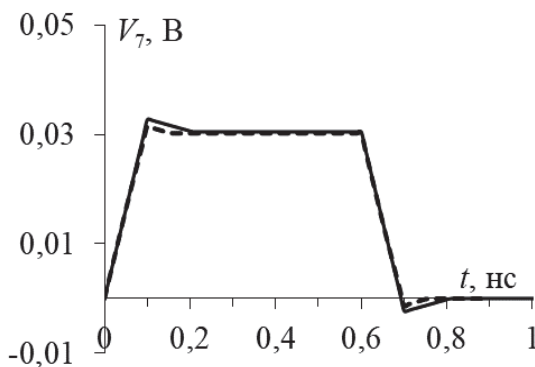
Формы напряжений в начале и конце активного и пассивного проводников двух последовательно соединённых отрезков линии передачи, вычисленных с помощью выражений (6–7) и в TALGAT, приведены на рис.3, 4.



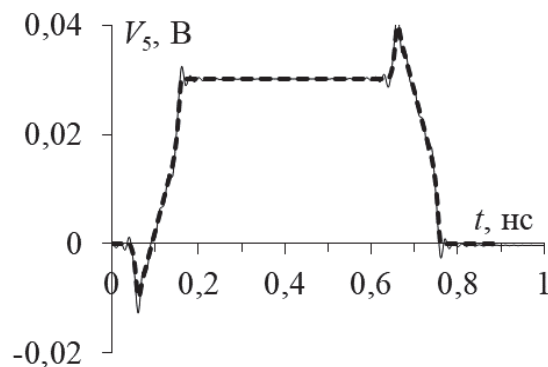
а



а



б



б

Рис. 3 - Формы напряжений в начале активного (а) и пассивного (б) проводников двух последовательно соединенных отрезков связанных линий, полученные в TALGAT (—) и в MathCad (---)

Рис. 4 - Формы напряжений в конце активного (а) и пассивного (б) проводников двух последовательно соединенных отрезков связанных линий, полученные в TALGAT (—) и в MathCad (---)

Из рис. 3, 4 видно, что формы напряжений импульсов в начале и конце активной и пассивной проводников, вычисленные по (6–7), совпадают по задержке, амплитуде и полярности с результатами из TALGAT. Сравнение амплитуд и погонных задержек импульсов в начале и конце активной и пассивной линии сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Сравнение амплитуд ( $U$ ), погонных задержек ( $\tau$ ) импульсов, в начале и конце активной и пассивной линии в системе TALGAT и MathCad

Параметры	TALGAT	MathCad	TALGAT	MathCad
В начале линии				
$U$ , В	0,49	0,49	0,03	0,03
$\tau$ , нс/м	0,71	0,71	0,71	0,71
В конце линии				
$U$ , В	0,44	0,44	0,45	0,45
$\tau$ , нс/м	0,76	0,76	0,78	0,78

Таким образом, в статье вычислены коэффициенты отражения мод для двух последовательно соединенных отрезков связанных линий, согласованных по выходу с помощью П-схем. На основании этого получены аналитические выражения для вычисления временного отклика двух последовательно соединенных отрезков, достоверность которых подтверждена квазистатическим моделированием.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Park S.W. Analytical approach for crosstalk characterization of multiconductor transmission lines using mode decomposition technique in the time domain / S.W. Park, F. Xiao, Y. Kami // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2010. – Vol. 52. – P. 436–446.



2. *Рыжова М.В.* Алгоритм вычисления форм сигнала на концах отрезка двухпроводной линии передачи, основанный на методе модального разложения во временной области // Международная научно – практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР – 2018». – Томск, Россия, 16–18 мая 2018. – С. 274–277.
3. *Кенжегулова З.М.* Анализ коэффициентов отражения мод при согласовании по выходу связанной линии с помощью П- и Т- образных схем // Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР – 2019». – 22–24 мая 2019 г. Томск. – С.17 – 20.
4. *You H.* Crosstalk analysis of interconnection lines and packages in high – speed integrated circuits / H.You, M. Soma // IEEE Transactions on Circuits and Systems. – 1990. – Vol. 37. – P. 1019–1026.
5. *Kuksenko S.P.* Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – Vol. 560. – No. 012110. – P.

## АДАПТИВНОЕ УЧАЩЕНИЕ СЕТКИ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ

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

Ключевые слова: адаптивное учащение сетки, метод моментов, система линейных алгебраических уравнений.

В статье приведены результаты использования адаптивного учащения сетки для ускорения сходимости и повышения точности решения электростатических задач методом моментов. Выявлены диапазоны значений параметров алгоритма, при которых его использование является эффективным средством уменьшения вычислительных затрат.

A.E. Maksimov, I.A. Onishchenko, S.P. Kuksenko

## ADAPTIVE MESH REFINEMENT IN ANALYSIS OF TRANSMISSION LINES BY THE METHOD OF MOMENTS

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

Keywords: adaptive mesh refinement, method of moments, system of linear algebraic equations.

The article presents the results of using the adaptive mesh refinement to convergence acceleration and increase the accuracy of solving electrostatic problems by the method of moments. Determined the ranges of values of the algorithm parameters at which its use is an effective means of reducing computational costs.

На практике часто возникают задачи анализа линий передачи (ЛП), используемых как в качестве элементов, так и в виде законченных СВЧ-устройств [1]. В случае использовании квазистатического приближения задача сводится к необходимости вычисления матриц погонных параметров линии. При анализе линий без потерь основные затраты приходится на вычисление ёмкостной матрицы  $C$  и меньшие на матрицу индуктивностей  $L$  [2]. Поскольку геометрия линий, как правило, достаточно сложна, аналитическое решение недоступно и используют различные численные методы. Одним из них является метод моментов (МоМ) [3]. Тогда решение задачи сводится к необходимости решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) [4]. Матрица СЛАУ при этом является плотной и объем памяти, которым обладают современные персональные компьютеры (ПК), часто оказывается недостаточен для её хранения, поэтому её порядки при практических вычислениях ограничены [5]. С другой стороны, необходимость многовариантного анализа линии в диапазоне её параметров, даже при достаточно простой геометрии линии, приводит к большим вычислительным затратам [6]. Свойства формируемой СЛАУ определяются выбранным методом построения сетки. При этом одной из главных проблем является обеспечение высокой точности расчетов при приемлемой вычислительной сложности. Достаточно эффективным решением этой проблемы является адаптация сетки к особенностям решения. Известно, что точность численного решения в подобластях сосредоточения особенностей решения существенно влияет на итоговую точность во всей области [7]. Тогда учащением сетки в таких подобластях можно повысить точность решения, а загрузлением сетки в подобластях плавного изменения решения можно уменьшить вычислительные затраты и, тем самым, повысить скорость решения. Именно поэтому возникает потребность в использовании адаптивного учащения сетки для уменьшения вычислительных затрат при анализе линий передачи.

Цель работы – оценить результативность учащения сетки при анализе линий передачи методом моментов.

На рисунке 1 показаны примеры равномерного (эквидистантного) и неравномерного

учащения сетки при анализе микрополосковой линии. В работе использован следующий алгоритм. При неравномерном учащении сетки сначала задается начальная редкая и равномерная сетка, соответствующая числу подынтервалов  $N_0$ . Затем итерационно происходит разбиение подынтервалов, в которых наблюдается наибольшее изменение распределение заряда, на основе задаваемого процента подлежащих разбиению ( $P$ ) подынтервалов от их общего числа. При разбиении подынтервалов добавляются новые узлы сетки в их центрах. Процесс продолжается до достижения максимального числа итераций ( $N_{itmax}$ ) или пока  $\|C_i - C_{i-1}\| / \|C_{i-1}\| > tol$ , где  $C_i$  – емкостная матрица, полученная после итерации  $i$ , а  $tol$  – требуемая точность решения. Аналогичный подход использован для вычисления матрицы  $L$ .

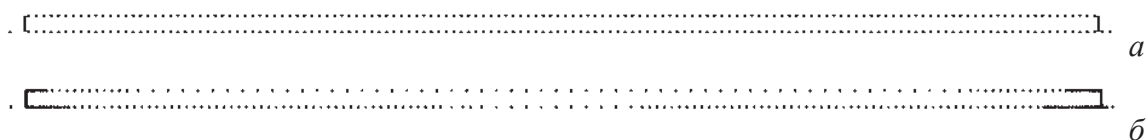


Рис. 1 – Равномерное (а) и неравномерное (б) учащения сетки

Для апробации алгоритма рассмотрена двухпроводная микрополосковая линия передачи с параметрами из работы [8]. Для вычислений использовались пакет GNU Octave и ПК со следующими характеристиками: процессор – Intel Core i5-8265U, тактовая частота – 1,60 ГГц; объем ОЗУ – 8 Гб; количество ядер – 4; количество виртуальных процессоров – 8.

На рисунке 2а приведены матрицы  $C$  и  $L$ , полученные при использовании густой равномерной сетки. Для решения СЛАУ использован метод исключения Гаусса. При этом порядок матрицы СЛАУ составил  $N=6250$ , а затраты времени и машинной памяти составили 16 с и 600 Мб соответственно. Далее результаты, полученные при такой сетке, использованы как эталонные. Для наглядности, аналогичные результаты ( $C$  и  $L$ ) при более грубой сетке и  $N=2500$  приведены на рисунке 2б. Затраты времени и памяти составили 1,1 с и 47,7 Мб соответственно.

$$\begin{array}{ccc}
 C = \begin{bmatrix} 131,88 & -23,29 \\ -23,29 & 131,88 \end{bmatrix} & \underline{C} = \begin{bmatrix} 131,65 & -22,23 \\ -22,23 & 131,64 \end{bmatrix} & C' = \begin{bmatrix} 132,00 & -22,75 \\ -21,90 & 130,60 \end{bmatrix} \\
 L = \begin{bmatrix} 0,3274 & 0,0947 \\ 0,0947 & 0,3274 \end{bmatrix} & \underline{L} = \begin{bmatrix} 0,3270 & 0,0945 \\ 0,0945 & 0,3270 \end{bmatrix} & L' = \begin{bmatrix} 0,3267 & 0,0944 \\ 0,0944 & 0,3267 \end{bmatrix} \\
 a & б & в
 \end{array}$$

Рис. 2 – Матрицы, полученные при равномерной для  $N=6250$  (а) и  $N=2500$  (б) и неравномерной для  $N_0=1250$ ,  $tol=10^{-2}$  и  $P=10\%$  (в) сетках

Исследование работы алгоритма построения неравномерной сетки выполнено при двух начальных сетках, соответствующих  $N_0=250$  и 1250. В таблице 1 приведены затраты времени ( $T$ ), машинной памяти ( $V$ ) и число итераций  $N_{it}$ , требуемые для вычисления матриц  $C'$  и  $L'$ , а также полученные погрешности  $\Delta C = \|C' - C\| / \|C\|$  и  $\Delta L = \|L' - L\| / \|L\|$  при изменении  $P$  и  $tol$ . Из таблицы 1 видно, что существенной одновременной минимизации затрат времени и машинной памяти можно добиться оптимальным выбором начальной сегментации  $N_0$  и выбором процента учащаемых подынтервалов в диапазоне 10–30%. При этом требуемую точность решения легко контролировать параметром  $tol$ . Для наглядности на рисунке 2в приведены матрицы  $C'$  и  $L'$ , полученные при  $N_0=1250$ ,  $tol=10^{-2}$  и  $P=10\%$ .

Таким образом, в работе исследовано применение итерационного алгоритма неравномерного учащения сетки при анализе линий передачи методом моментов. Выявлены диапазоны значений параметров алгоритма, при которых его использование является эффективным средством уменьшения вычислительных затрат, требуемых на анализ. Далее целесообразно оценить возможность его применения и модификации применительно к многовариантному анализу.

Таблица 1. Результаты вычислений матриц  $C'$  и  $L'$  при использовании алгоритма неравномерного учащения сетки для двухпроводной микрополосковой линии передачи

$N$	$tol$	$P, \%$	$N_{itmax}$	$N_{it}$	$T, c$	$V, Mб$	$\Delta C$	$\Delta L$
250	$10^{-2}$	10	20	12	0,0189	0,709724	0,074811	0,042195
		20	20	8	0,0639	1,027596	0,069934	0,042432
		30	20	7	0,0795	1,930305	0,076033	0,041732
		40	20	6	0,0925	2,980232	0,100040	0,041550
	$10^{-3}$	10	20	20	0,1938	3,517464	0,067275	0,042908
		20	20	17	0,9822	28,50715	0,069922	0,043387
		30	20	9	0,1866	5,551216	0,070327	0,042210
		40	15	15	87,9987	1624,5	0,013477	0,006495
	$10^{-4}$	10	20	20	0,2194	3,517464	0,067275	0,042908
		20	20	20	2,7294	85,4676	0,069932	0,043627
		30	18	18	28,4278	700,0522	0,068510	0,043099
		40	15	15	89,8876	1624,5	0,013477	0,006495
1250	$10^{-2}$	10	7	2	0,2675	14,57156	0,010352	0,002235
		20	7	2	0,292	17,32673	0,008157	0,002235
		30	7	2	0,3459	21,66157	0,008128	0,002235
		40	7	6	11,8169	454,8175	0,020660	0,000951
	$10^{-3}$	10	7	7	1,3172	38,21292	0,010503	0,001467
		20	7	3	0,5308	25,07758	0,007267	0,001711
		30	7	3	0,7314	37,49915	0,007320	0,001711
		40	7	7	34,2262	902,4611	0,016600	0,001155
	$10^{-4}$	10	7	7	1,2947	38,21292	0,010503	0,001467
		20	7	7	2,9818	108,3783	0,010768	0,001245
		30	7	7	9,3261	323,3345	0,010933	0,001360
		40	7	7	33,0393	902,4611	0,016600	0,001155

Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2020-0039 Минобрнауки России

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Малютин Н.Д. Связанные полосковые линии и устройства на их основе / Н.Д. Малютин, А.Н. Сычев, Э.В. Семенов, А.Г. Лоцилов. – Томск: ТУСУР, 2012. – В 2-х частях: Ч.1 – 176 с. Ч.2 – 244 с.
2. Сычев А.Н. Комбинированный метод частичных емкостей и конформных отображений для анализа многомодовых полосковых структур. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 138 с.
3. Харрингтон Р.Ф. Применение матричных методов к задачам теории поля // Труды института инженеров по электронике и радиотехнике. – 1967. – № 2. – С. 5–19.
4. Григорьев А.Д. Методы вычислительной электродинамики / А.Д. Григорьев – М.: Физматлит. – 2013. – 430 с.
5. Shaeffer J. Million plus unknown MOM LU factorization on a PC // IEEE International conference on electromagnetics in advanced applications (ICEAA). – 2015. – P. 62–65.
6. Kuksenko S.P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation / S.P. Kuksenko // Journal of physics: conference series. – 2019. - Vol. 560. – Iss. 1. - P. 012110. - DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012110
7. Фуско В. СВЧ-цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
8. Стручков С.М. Методика конформных отображений для моделирования полосковых линий передачи и проектирование устройств на их основе. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: 05.12.07. – Томск, 2016. – 148 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО МИНИМУМА ФУНКЦИИ**

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

Ключевые слова: градиентный спуск, скорость обучения, метод обратного распространения, нейронные сети, глобальный минимум, машинное обучение, нейрон, синапс, вес, гиперпараметр.

Разработка нейронной сети и создание ее архитектуры являются сложным процессом, но без эффективного обучения нейронная сеть неспособна корректно анализировать поступающую информацию и предоставлять правильные ответы, поэтому важной задачей является повышение точности в процессе обучения нейронной сети, для этого применяют машинное обучение и в зависимости от задачи требуемый алгоритм обучения. Преимущественно применяются нейронные сети на архитектуре перцептрона, для их обучения используется алгоритм градиентного спуска, позволяющий получить наименьшие значения ошибки. В данной работе произведено исследование скорости обучения нейронной сети при решении задачи нахождения глобального минимума функции.

**I.N. Mikishev, N.V. Budyldina**

## **STUDY OF THE LEARNING SPEED OF A NEURAL NETWORK INSOLVING THE PROBLEM OF FINDING A GLOBAL MINIMUM OF AFUNCTION**

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Communications and Informatics" in Yekaterinburg(URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: gradient descent, learning rate, back propagation method, neural networks, global minimum, machine learning, neuron, synapse, weight, hyperparameter.

The development of a neural network and the creation of its architecture is a complex process, but without effective training, the neural network is unable to correctly analyze the incoming information and provide the correct answers, therefore, it is important to increase accuracy in the process of training the neural network, for this, machine learning is used, and depending from the task - the required learning algorithm. Neural networks based on the perceptron architecture are mainly used; for their training, the gradient descent algorithm is used, allowing to obtain the smallest error values. In this paper, we study the learning rate of a neural network when solving the problem of finding the global minimum of a function.

В современном мире повсеместно встречаются нейронные сети, они выполняют следующие задачи: прогнозирование, анализ, кластеризация, обработка баз данных. Нейронная сеть состоит из нейронов и синапсов, каждый синапс имеет вес, именно от этих связей зависит функционирование нейронной сети – какой нейрон в дальнейшем будет активирован, соответственно, будет ли передана информация[1].

Вес синапса изначально задается случайным образом, но в дальнейшем вычисляется, для этого применяются методы машинного обучения. Функционирование нейронных сетей невозможно без их предварительного обучения, поэтому по отношению к нейронным сетям применяется машинное обучение [2].

В машинном обучении преимущественно используемый алгоритм обучения называется градиентным спуском. Градиентный спуск нашел применение при обучении наиболее часто встречаемой модели – перцептрона (альтернативное название - персептрон), этот метод машинного обучения такжеизвестен как метод обратного распространения ошибки.

Используя градиентный спуск, можно решить задачи нахождения минимального значения функции потерь, поиск минимума функции повышает точность модели. Одновременно при увеличении точности модели меняются параметры – вес и смещение [3].

Поиск минимума функции означает поиск точки, которая наиболее близка к оси абсцисс, – глобального минимума функции. Следовательно, при выборе данной точки будет выбран вес, при котором будет получена наименьшая ошибка, что означает получение наилучшего результата нейронной сетью. Найти глобальный минимум позволит применение метода градиентного спуска. Для каждого синапса нейронной сети будет свой график для нахождения оптимального веса, при котором будет получена наименьшая ошибка.

Градиент – это вектор, который определяет крутизну склона и указывает его направление относительно какой-либо точки на поверхности или графике. Чтобы вычислить градиент, необходимо взять производную от графика в данной точке, дальнейшее перемещение по градиенту позволит достичь глобального минимума функции [3].

До начала процесса обучения нейронной сети веса задаются случайным образом, это означает, что точка отсчета может располагаться в любой точке графика, от которой берется производная и определяется дальнейший вектор, в направлении которого будет производиться расчет следующей точки для перемещения по графику [4]. На рисунке 1 показан пример работы алгоритма градиентного спуска.

Рассмотрим работу алгоритма градиентного спуска на примере сложной функции, которая изображена на рисунке 2.

На рисунке 2 указаны две точки: первая (расположена выше) – точка начала отсчета, вторая (расположена ниже) – точка локального минимума.

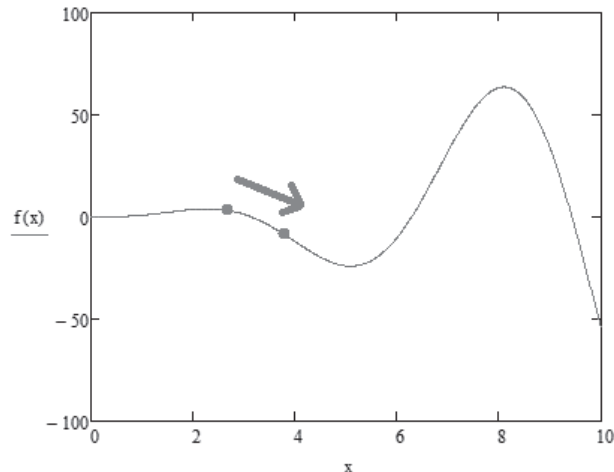


Рис. 1. - Пример работы алгоритма градиентного спуска

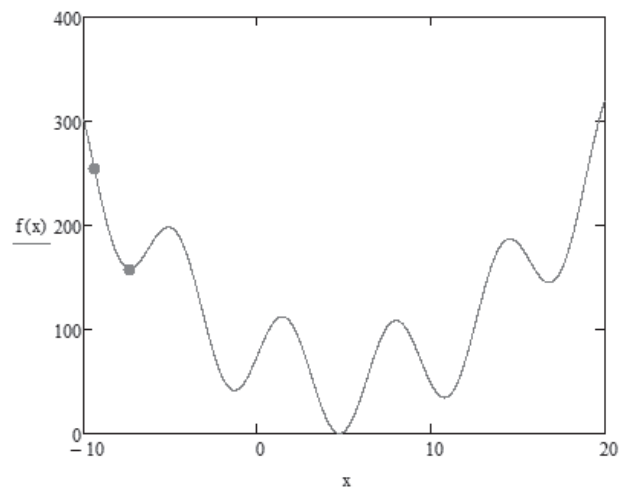


Рис. 2. - Пример работы алгоритма градиентного спуска со сложной функцией



Если произвести расчет градиентного спуска для функции, продемонстрированной на рисунке 2, то минимум будет определен в нижней точке – локальном минимуме функции, но данная точка не является глобальным минимумом функции, поэтому показатель ошибки будет велик и нейронная сеть будет выдавать некорректные результаты. Для того чтобы алгоритм градиентного спуска продолжил поиск глобального минимума, необходимо изменить параметры расчета, в машинном обучении данные параметры называются гиперпараметрами, среди них выделяют скорость обучения.

Скорость обучения – коэффициент, который устанавливается и подбирается вручную [5]. Может сложиться впечатление, что чем выше скорость обучения, тем быстрее будет найден глобальный минимум функции, но это не так. При большом значении скорости обучения значения функции будут быстро меняться, пропуская значения глобального минимума, как показано на рисунке 3.

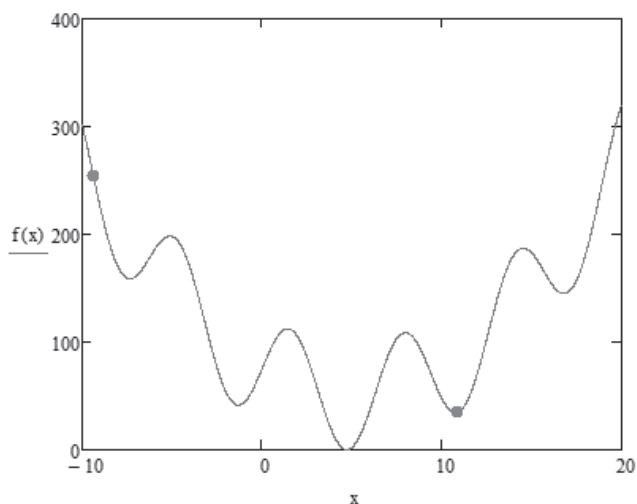


Рис. 3. - Пример работы алгоритма градиентного спуска с большим значением скорости обучения

При подборе значения скорости обучения следует учитывать, что если указать слишком низкое значение, то поиск глобального минимума функции может занять большое количество времени, либо он вовсе не будет найден, либо будет найден неверный минимум функции, снижающий точность работы нейронной сети.

Для реализации исследования алгоритма работы градиентного спуска была выбрана программная среда SublimeText 3, язык программирования Python 3.8.2 с библиотекой numpy.

Для выполнения расчета значения градиента в точке применяется формула:

$$x_n = x_{n-1} - \eta \times \frac{dy}{dx}.$$

где  $\eta$  – скорость обучения

Начальная точка во всех итерациях была [0;0].

Рассмотрим функцию  $f(x) = (x - 4)^2$ , график функции представлен на рисунке 4.

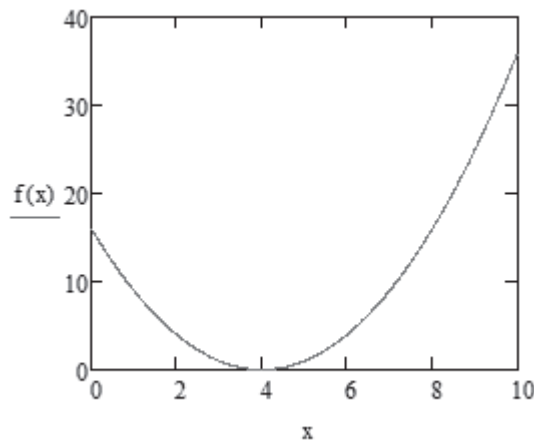


Рис. 4. - График параболической функции

Анализируя форму параболической функции, можно сделать вывод, что она однородная и имеет одну вершину. Если значение коэффициента скорости обучения было меньше 0.045, то значение функции было более 0.2, при значении коэффициента скорости обучения равном 0.01 значение функции составило 5.82, при значении коэффициента скорости обучения равном 0.1 значение функции составило 0.0002.

Рассмотрим функцию  $f(x) = (x - 5)^2 + 30 \times \sin(2 \times x)$ , график функции представлен на рисунке 5.

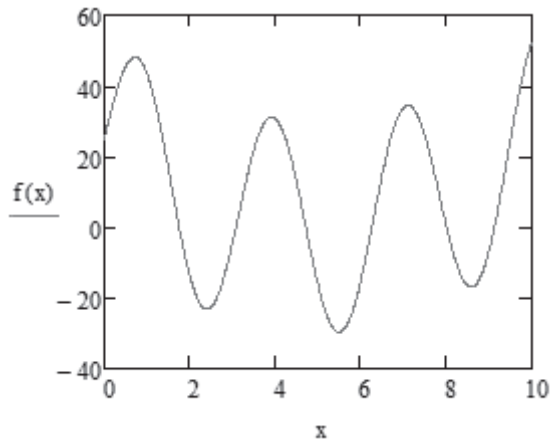


Рис. 5. - График синусоидальной функции

Анализируя форму синусоидальной функции, можно сделать вывод, что она однородная, имеет множество вершин, периодична, возрастает. Если значение коэффициента скорости обучения было меньше 0.033, то минимум функции определялся в отрицательной части (на рисунке 5 до первой вершины), при значении коэффициента скорости обучения больше 0.033, но меньше 0.0348 находился локальный минимум функции в пределах [2.2;2.6], при значении равном 0.03488 был найден глобальный минимум равный -26,91, значения коэффициента скорости обучения, превышающие величину в 0.349, определяли другие локальные минимумы функции.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод: чем больше вершин и более сложную форму имеет функция, тем сложнее определить ее глобальный минимум, требуется точнее подбирать значение коэффициента скорости обучения нейронной сети.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галушкин А.И.* Нейронные сети: основы теории [монография] / А.И. Галушкин .— М. : Горячая линия – Телеком, 2012 . – 497 с.
2. *Хайкин С.* Нейронные сети. Полный курс 2-е изд. Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.

3. *Kohonen T.* Self-Organizing Maps. 3rd edition. // Springer-Verlag. – 2001. – С. 2.
4. *Головкин В. А.* Нейронные сети: обучение, организация и применение. Кн. 4. Учеб. Пособие для вузов / Общая ред. А.И. Галушкина. — М.: ИПРЖР, 2001. – 256 с.
5. *Назаров А.В., Лоскутов А.И.* Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем – СПб.: Наука и Техника, 2003. – 384 с.

## ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФИЛИАЛОВ КРЕДИТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет  
<sup>2</sup>Национальный экономический университет, Ханой, Вьетнам

Ключевые слова: GRE, IPSec, VPN, инфокоммуникации, информационная безопасность

В статье рассмотрены проблемы организации безопасного сетевого взаимодействия филиалов кредитной организации через публичные сети. Предложена методика модернизации существующей сети кредитной организации.

<sup>1</sup>A.N. Zemtsov, <sup>1</sup>A.A. Turitsyn, <sup>2</sup>Tran Dung Khanh

## IMPLEMENTATION OF SECURE INTERACTION OF CREDIT ORGANIZATION BRANCHES

<sup>1</sup>Volgograd State Technical University  
<sup>2</sup>National Economic University, Hanoi, Vietnam

Keywords: GRE, IPSec, VPN, infocommunications, information security

The article discusses the problems of organizing a secure network interaction between branches of a credit organization through public networks. The technique of modernization of the existing credit organization network is proposed.

В последнее время в кредитных организациях, осуществляющих финансово-кредитную деятельность на территории Российской Федерации наметился переход от традиционного документооборота к системам с электронной формой представления документов, вызванный, в том числе, необходимостью организации дистанционного взаимодействия между различными структурными подразделениями кредитных организаций. Как следствие, в ходе предварительного исследования были рассмотрены различные протоколы организации виртуальных частных сетей: IPSec, PPTP, SSL, L2TP, SSTP, частично описанные в [1].

К настоящему времени был разработан ряд подходов для обеспечения отказоустойчивости информационной безопасности сети, для чего используются различные методы повышения эффективности планирования передачи пакетов между филиалами кредитных организаций, а также методы туннелирования и шифрования трафика [3-5]. Подобный подход позволяет обеспечить возможность взаимодействия между сетями филиалов кредитных организаций, использующих различные протоколы, а также обеспечить конфиденциальность и целостность передаваемых данных, включая служебные поля заголовков пакетов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить проектирование информационно-коммуникационной сети для организации сетевого взаимодействия филиалов через сеть Интернет с использованием следующих протоколов туннелирования: GRE, IPSec, GRE over IPSec и DMVPN, включая NHRP, mGRE, IPSec, OSPF, EIGRP.

Технология Cisco Systems DMVPN (Dynamic Multipoint Virtual Private Network) позволяет создавать динамические виртуальные частные сети с множественным подключением. DMVPN является дальнейшим развитием технологии VPN, и основывается на совместной работе протоколов разрешения шлюза NHRP, протокола туннелирования mGRE, протокола шифрования IPSec и протоколов динамической маршрутизации: OSPF, ODR, RIP, EIGRP, BGP. GRE-туннели являются однонаправленными, поэтому подразумевается наличие обратного туннеля на другой стороне. Клиент связывается с DMVPN сервером и получает от того данные конечной точки сетевого взаимодействия, после чего между ними создаётся виртуальный туннель.

До утверждения и внедрения разработанного проекта предлагается выполнить анализ

результатов на модели рассматриваемых информационно-коммуникационных систем. При построении моделей информационно-коммуникационных систем перед исследователем возникает вопрос, какой системой моделирования воспользоваться для построения своей модели, для чего был выбран Для работы был выбран эмулятор сети GNS3/Dynamips, позволяющий имитировать работу аппаратных средств реального маршрутизатора, путем загрузки и взаимодействия с реальными образами операционных систем основных производителей сетевых устройств Cisco, Mikrotik, Juniper., а также возможности подключения к внешней сети. Прототип информационно-коммуникационной системы показана на рисунке 1.

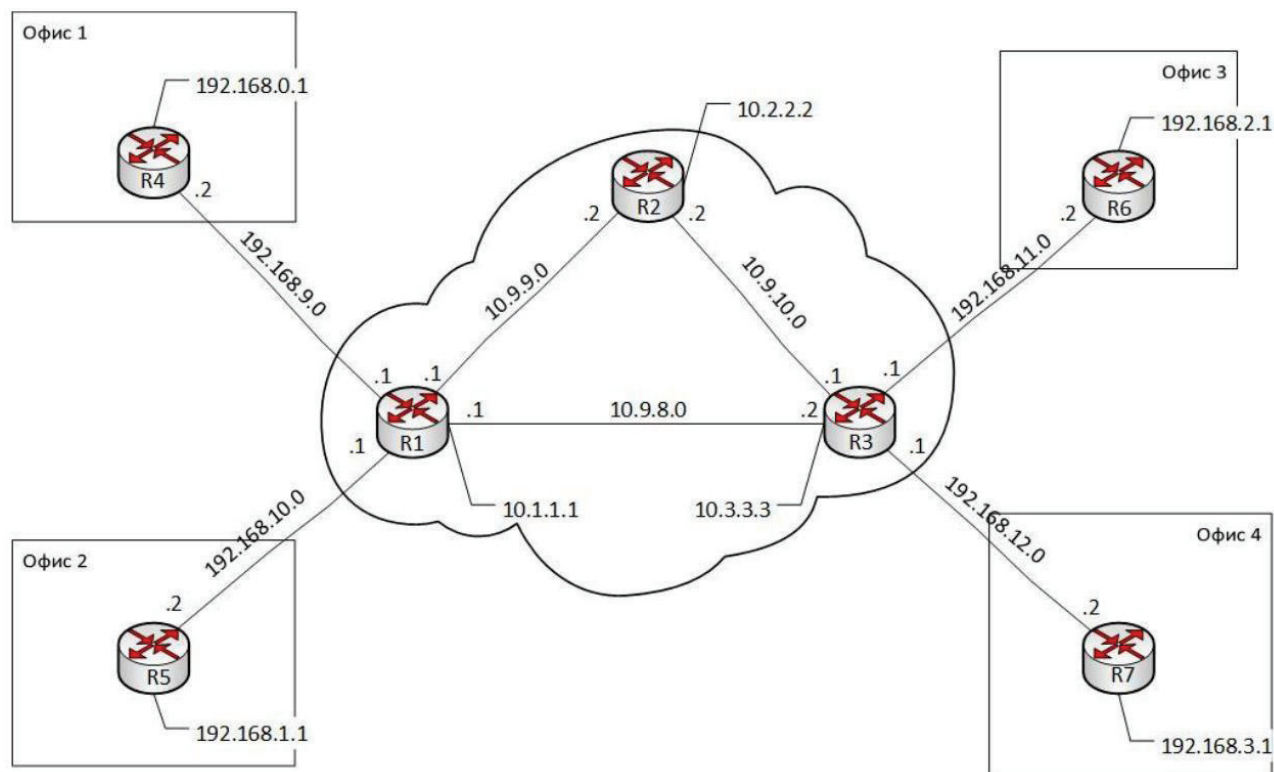


Рис. 1 – Прототип информационно-коммуникационной системы

Для конфигурирования технологии DMVPN необходимо выполнить конфигурирование mGRE-туннелей, конфигурирование протоколов NHRP и IPSec, заключающееся в создании политики безопасности isakmp, и настройки профиля IPSec, а также сконфигурировать протокол динамической маршрутизации.

Перед тем как передать пакет по GRE-туннелю, к нему добавляют заголовок GRE, содержащий новыми IP-адреса: адрес отправителя и получателя туннеля. GRE-туннель является виртуальным интерфейсом 3-го уровня, который не обладает собственным MAC-адресом, поэтому пакет отправляется с физического интерфейса, чей адрес указывается в качестве Source MAC, как видно из рисунка 2.

```
Officel#sh int
FastEthernet0/0 is up, line protocol is up
  Hardware is Gt96k FE, address is c402.3844.0000 (bia c402.3844.0000)
  Internet address is 1.1.1.1/30
```

Рис. 2 – Информация физического интерфейса

Необходимо отметить, что при большом количестве филиалов подобный подход, основанный на туннелях GRE, плохо масштабируется, а данные передаются в открытом виде, что можно нивелировать путем использования протокола IPSec, как показано на рисунке 3.

```

R1#sh crypto session
Crypto session current status
Interface: FastEthernet0/0
Session status: UP-ACTIVE
Peer: 2.2.2.1 port 500
   IKE SA: local 1.1.1.1/500 remote 2.2.2.1/500 Active
IPSEC FLOW: permit ip host 172.16.250.0 host 172.16.251.0
   Active SAs: 0, origin: crypto map

```

Рис. 3 – Сведения о работе туннеля.

Для многоточечной сети необходимо настроить mGRE интерфейсы, как показано на рисунке 4. Доступность маршрутизаторов проверим с помощью NHRP.

```

R5#show interfaces tun1
Tunnell is up, line protocol is up
Hardware is Tunnel
Internet address is 192.168.100.1/24
MTU 1514 bytes, BW 9 Kbit/sec, DLY 500000 usec,
   reliability 255/255, txload 1/255, rxload 1/255
Encapsulation TUNNEL, loopback not set
Keepalive not set
Tunnel source 192.168.10.2 (FastEthernet0/0), destination UNKNOWN
Tunnel protocol/transport multi-GRE/IP
Key disabled, sequencing disabled
Checksumming of packets disabled

```

Рис. 4 – Сведения об интерфейсе Tun1.

По окончании выполнения конфигурирования DMVPN на сетевом оборудовании, необходимо выполнить проверку правильности функционирования защищенной информационно-коммуникационной системы. Проверка доступности узлов сети осуществлялась с помощью команд ping и traceroute.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guide to IPsec VPNs. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hhs.gov/sites/default/files/ocr/privacy/hipaa/administrative/securityrule/nist80077.pdf>.
2. Земцов А.Н., Болгов Н.В., Божко С.Н. Многокритериальный выбор оптимальной системы управления базы данных с помощью метода анализа иерархий // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2360>.
3. Земцов А.Н., Ньяти Р.С. Моделирование и оценка показателей надежности и отказоустойчивости систем связи // Инженерный вестник Дона, 2019, №4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2019/5995>.
4. Земцов А.Н., Чан Зунг Хань. Анализ эффективности алгоритмов планирования передачи пакета в сетях LTE // Инженерный вестник Дона, 2019, №4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5840>.
5. Земцов А.Н., Чан Зунг Хань. О повышении доступности шлюза по умолчанию в корпоративных сетях // Инженерный вестник Дона, 2019, №9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6243>.



## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДОСТУПА БОЛЬШОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ**

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ), г.  
Новосибирск, Россия

Ключевые слова: пассивные оптические сети доступа большого радиуса действия, пропускная способность, капитальные и эксплуатационные затраты.

В работе рассматривается возможность использования в качестве сетей доступа пассивных оптических сетей доступа большого радиуса действия (LR-PON). Приводятся результаты исследования таких сетей, показывающие их преимущества по сравнению с классическими пассивными оптическими сетями доступа, одним из которых является уменьшение срока окупаемости.

**V.P. Shuvalov, I.G. Kvitkova**

## **TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF LONG-REACH PASSIVE OPTICAL ACCESS NETWORKS**

Siberian state University of Telecommunications and Informatics (SibGUTI),  
Novosibirsk, Russia

Keywords: long-reach passive optical access networks, bandwidth, capital and operating costs.

The article considers the possibility of using long-reach passive optical networks (LR-PON) as access networks. The results of research of such networks are presented, showing their advantages in comparison with classical passive optical access networks, one of which is a reduction in the payback period.

В телекоммуникационной сети, или в соответствии с терминологией ИТУ – системе, различают три составляющие: ядро (базовая сеть), городская/региональная сеть и сеть доступа. Городская сеть часто в литературе называется сетью метро (metro). В модели ИТУ она является составляющей базовой сети.

В данной работе мы ограничимся рассмотрением пассивных оптических сетей доступа, теоретическому и экспериментальному исследованию которых посвящено множество работ, направленных, в конечном счете, на обеспечение растущей потребности в широкополосных услугах. На рис. 1 представлены некоторые задачи, с которыми приходится столкнуться при выборе способа реализации сетей доступа.



Рис. 1 - Подходы к построению оптических сетей доступа

Начиная с 90-х годов прошлого столетия оптические сети доступа развивались по пути:

- увеличения расстояний OLT-ONU и коэффициентов деления делителей (сплиттеров);
- увеличения скорости передачи за счет:
  - модернизации TDM-PON;
  - использования WDM;
- применительно к пользователям за счет:
  - сохранения как домашних, так и бизнес-пользователей;
  - обеспечения более высоких показателей информационной безопасности для бизнес-пользователей (конфиденциальность, доступность, целостность).

В результате чего происходил переход от сетей доступа на технологиях APON, BPON, GPON к сетям нового поколения, к которым предъявляются следующие требования:

- поддержка существующих и новых услуг;
- максимальное использование существующей оптической распределительной сети;
- гибкая модернизация канальной составляющей и системы управления;
- способность обеспечить рост полосы/пропускной способности и подключение большего числа абонентских устройств;
- оптимизация по затратам, качественным показателям и энергопотреблению;
- возможность диагностики отказов с быстрым восстановлением сервиса.

Для построения пассивных оптических сетей доступа NGPON используются технологии мультиплексирования, сравнительный анализ которых представлен в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение технологий мультиплексирования

Технологии	TDM	TWDM	WDM	OFDM
Скорость	40/10G	4x(10/2.5G)	Nx(1/1)G	40/10G
Оптический бюджет	31 dB	37.5 dB	29-43 dB	30-36.5 dB
Сплит	64	64	80	64
Расстояние	< 40 км	< 40 км	< 20-60 км	< 100 км
Затраты	\$ ↔ \$\$\$	\$ ↔ \$\$	\$\$ ↔ \$\$\$	\$\$ ↔ \$\$\$\$
Мощность OLT	низкая	низкая	высокая	средняя
Мощность ONU	средняя	средняя	низкая	высокая

При переходе от TDM к TWDM, WDM, OFDM скорости передачи растут. Основными барьерами на пути роста скорости в расчете на одного пользователя являются (рис. 2):

- Затраты на обеспечение роста пропускной способности превышают рост дохода.
  - Рост доходов намного медленнее, чем рост пропускной способности - сокращение прибыли.
  - Историческое снижение цен на электронные устройства недостаточно быстрое.
- Задачи сетевых операторов:
- Увеличение спроса на услуги с более высокой пропускной способностью (высокоскоростной интернет, HDTV, видео по требованию, телемедицина и др.).

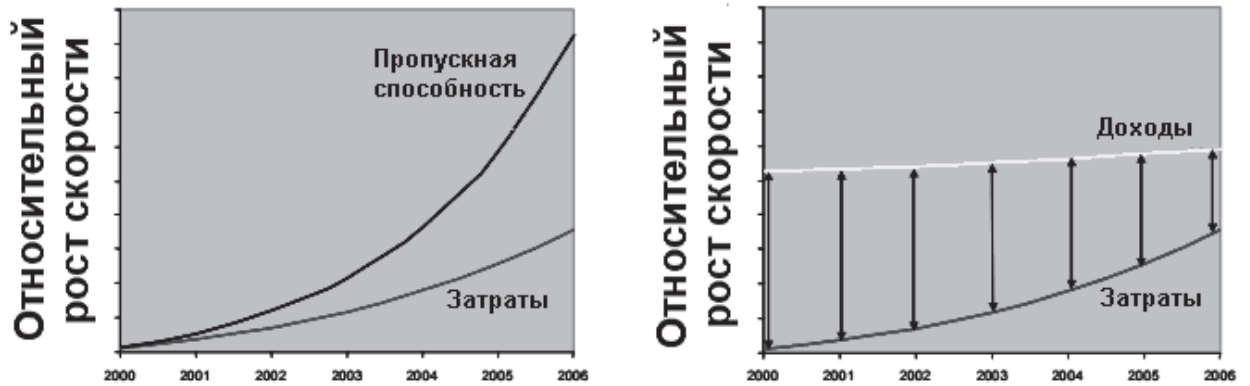


Рис. 2 - Пропускная способность, затраты и доходы

Одним из путей снижения затрат на обеспечение роста пропускной способности является переход к сетям доступа большого радиуса действия [1], переход к использованию которых обоснован организацией DISCUS (DISTRIBUTED Core for unlimited bandwidth supply for all Users and Services) [2, 3, 4, 5] (рис. 3).

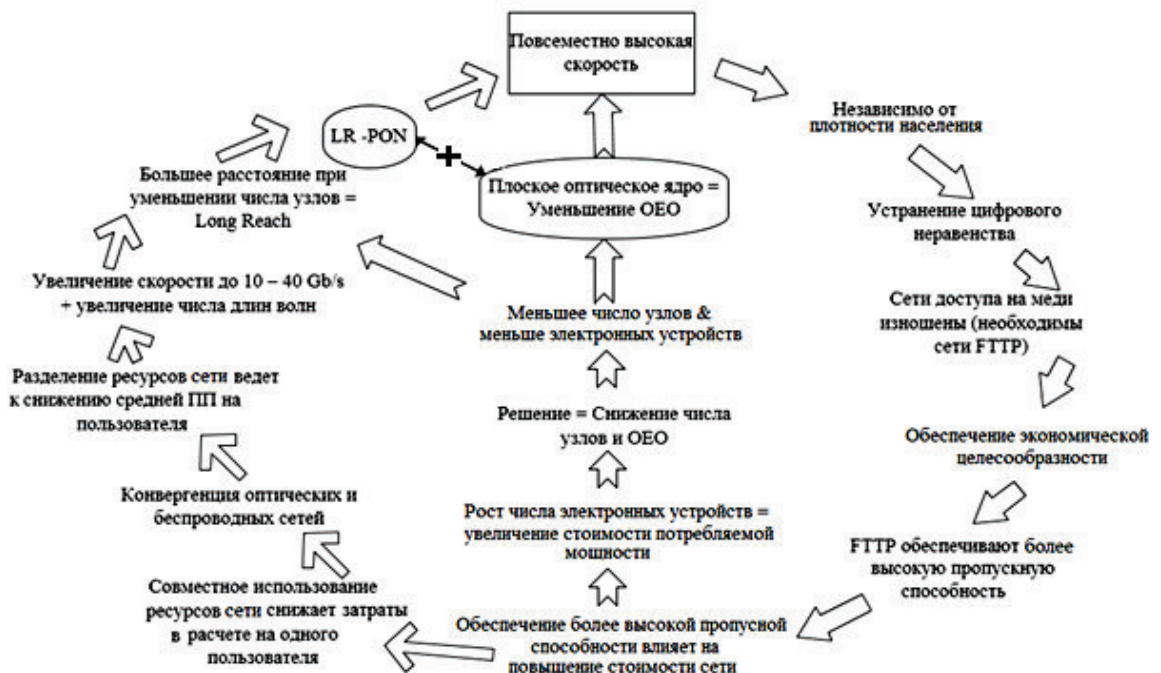


Рис. 3 - Логическая архитектура DISCUS

В соответствии с идеологией DISCUS при переходе к сетям большого радиуса действия (LR-PON) решаются три главные проблемы:

1. Финансовые (большое различие между доходами и затратами на обеспечение пропускной способности).

2. Экологические (высокий рост потребления электроэнергии телекоммуникационными сетями).

3. Социальные (проблемы «цифрового неравенства»):

– обеспечение жителей, проживающих в районах с малой и большой плотностью населения, одинаковыми услугами;

– с минимальными субсидиями со стороны государства.

В таблице 2 представлены проекты LR-PON, описание которых можно найти в [1].

Таблица 2. Проекты LR-PON

Project	Reach (Km)	#λ	DS/UP (Gb/s)	# ONTs
PLANET	100	1	2.5 / 0.311	2.048
Super-PON	135	40	2.5 / 1.25	2.560
Hybrid PON	100	17	10 / 10	17*256 = 4.352
PIEMAN	100	32	10 / 10	32*512 = 16.384
SUCCESS	25	4*16	1.25 / 1.25	4*16
SARDANA	100	> 1	10 / 10	1000

Увеличение расстояния OLT-ONU приводит к тому, что растет:

- ослабление сигнала;
- шумы в LR-PON;
- дисперсия (вследствие увеличения расстояний происходит рост хроматической дисперсии);
- задержка передачи данных по запросу от ONU и коллизии;
- импульсивность трафика US;
- коэффициент неготовности.

Вопросам построения сетей LR-PON с учетом этих проблем посвящен ряд работ [1, 6, 7, 8, 9] и др., в которых показано, что развертывание оптических сетей доступа, удовлетворяющих требованиям пользователей и имеющих малый период окупаемости, возможно при переходе от сетей GPON к сетям доступа большого радиуса действия [10] (рис. 4). Об этом также свидетельствует опыт эксплуатации таких сетей в Великобритании, Франции и других странах.

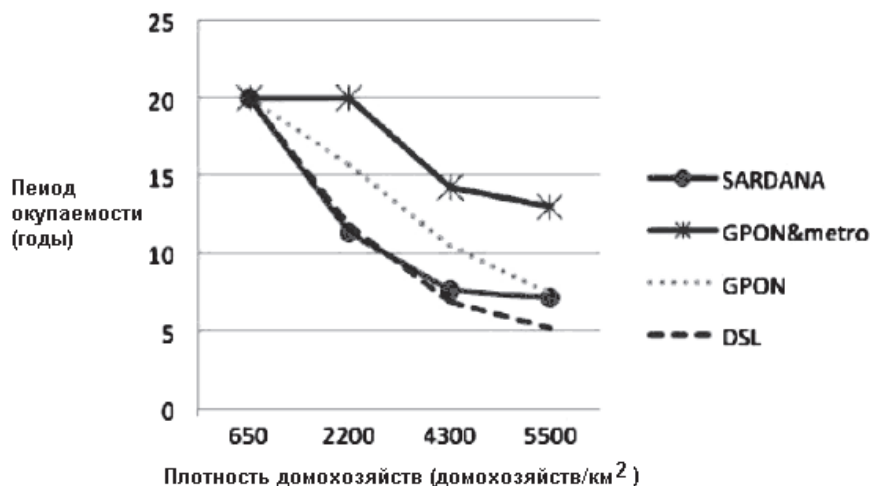


Рис. 4 - Период окупаемости для различных технологий

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Шувалов В.П., Фокин В.Г.* Оптические сети доступа большого радиуса действия. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 187 с.
2. *Ettenberger F., Mukai H., Park S., Pfeiffer T.* Next Generation PON-Part II : Candidate Systems for Next Generation PON // IEEE Communication Magazine, November 2009. Vol. 47. no. 11. P. 50-57.
3. *Talli G., et al.* SDN Enabled Dynamically Reconfigurable High Capacity Optical Access for Converged Services // IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, Feb. 2016. Vol. 35. no. 3. P. 550-560.
4. DISCUS Deliverable D6.5: Final report on the specification of the metro/core node architecture. July 2015.
5. DISCUS Deliverable D2.8: DISCUS end-to-end techno-economic model, October 2015.
6. DISCUS Deliverable D4.13: Resiliency in heterogeneous long reach access networks. June 2015.
7. *Ионикова Е.П., Шувалов В.П.* Анализ методов обеспечения показателей надежности сетей PON и LR-PON. Часть I // Вестник ИРГТУ. 2018. № 1. С. 69-88.
8. *Зеленцов Б.П., Ионикова Е.П., Шувалов В.П.* Модели элементов оптической сети доступа в условиях резервирования и учета недостоверного контроля их технического состояния // Вестник СибГУТИ. 2019. № 1. С. 3-15.
9. Einar in de Betou, Henrik Ahlfeldt. WDM-PON is a key component in next generation access // LIGHT Wave. Mar. 7 th. 2014. P. 20-22.
- Walczyk K., Gravey A.* Techno-economic comparison of next-generation access networks for the French market // LNCS. 20

## ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ АНТЕННЫ СПИРАЛЬ АРХИМЕДА

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

Ключевые слова: Антенна, диэлектрические материалы, спираль Архимеда.

Описан практический опыт конструирования антенны спираль Архимеда. Рассмотрены материалы, используемые при ее изготовлении. Проведена оценка влияния диэлектрических материалов на характеристики антенны. Даны рекомендации по построению спиральной антенны.

Ovchinnikov D.A., Baranov S.A.

## PRACTICAL EXPERIENCE OF DESIGNING ANTENNA ARCHIMEDES SPIRAL

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Key words: border computing, resource allocation.

The practical experience of designing the antenna of Archimedes spiral is described. The materials used in the manufacture of the antenna are considered. The effect of dielectric materials on the characteristics of the antenna is evaluated. Recommendations on the construction of a spiral antenna are given.

Процесс создания антенны от идеи до готового устройства можно разделить на два этапа.

Первый этап – это постановка задачи, выбор конструкции антенны, удовлетворяющей поставленным задачам, потом предварительный расчет по известным формулам, для достижения заданных условий. После становится возможным создание компьютерной модели в геометрических размерах, полученных во время расчета. Компьютерное моделирование построит диаграмму направленности, позволит откорректировать форму антенны, чтобы максимально удовлетворять заданным условиям. На этом первый этап окончен. Может показаться, что основная часть работы выполнена: все размеры есть на бумаге, изображение антенны в 3D готово, даже характеристики, по которым ее можно оценить, известны. Нужно только собрать антенну в соответствии с чертежом.

На втором этапе конструирования антенны на практике оказывается, что толстый провод сложно гнуть, тонкий – легко рвется. Сложные геометрические формы с чертежа невозможно в точности воплотить в реальную модель, отчего конечный вид антенны совсем не похож на то, что ожидалось получить.

С такими особенностями построения пришлось столкнуться при изготовлении антенны спираль Архимеда. Спираль Архимеда описывается формулой:

$$\rho = k\varphi, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент расширения спирали (фиксированное число);

$\varphi$  – угол поворота спирали [1].

Используя ее, можно рассчитать и построить, например, в MS Excel, спираль нужной формы со всеми необходимым размерами. Выглядеть это будет так, как показано на рис. 1.



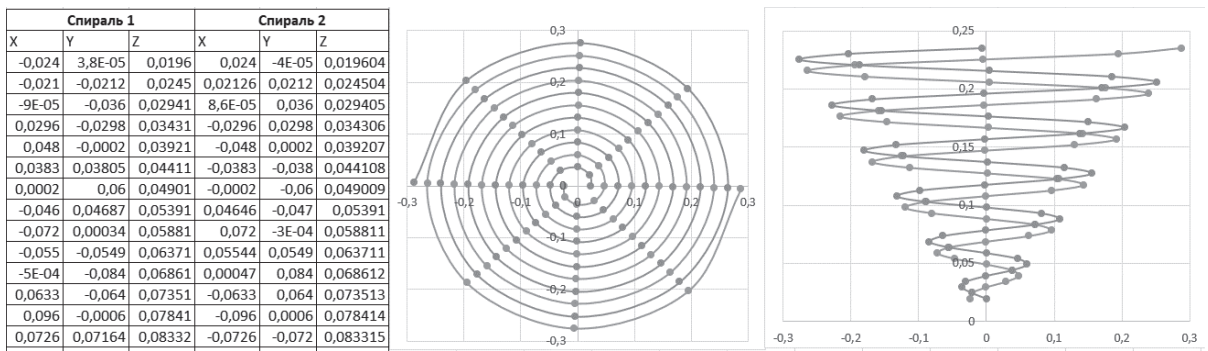


Рис. 1 – расчетные значения и вид спирали Архимеда, построенной в двух плоскостях.

Первоначально, было принято решение выполнить спираль толстым медным проводом сечением 10 мм<sup>2</sup>, что соответствует диаметру 3,57 мм. Предполагалось, что такой провод будет обладать достаточной жесткостью, чтобы сохранить заданную ему форму с минимальным количеством поддерживающих конструкций. Конечная конструкция антенны приведена на рис.2.

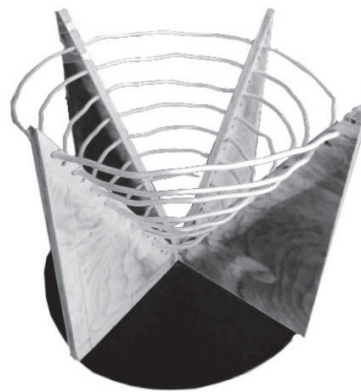


Рис.2 - Модель антенны спираль Архимеда, выполненная из жесткого проводника.

При первых попытках намотки спирали возникли трудности с сохранением заданного радиуса. Потребовалась жесткая оправка. В качестве оправки и поддерживающей конструкции были выбраны треугольники, выпиленные из ДСП. ДСП выбран как крепкий, доступный и достаточно легкий в обработке материал. В ДСП были высверлены отверстия в соответствии с расчетными значениями. Спираль наматывалась от самого большого витка в сторону самого малого. Во время намотки провод многократно гнулся, поэтому его форма искажилась, и витки легли неровно. С одной стороны, конструкция получилась прочной, с другой стороны, из-за жесткости провода не получилось выполнить ровную намотку, и от малых витков пришлось совсем отказаться.

Учитывая полученный опыт, было принято решение следующую модель антенны выполнить из более гибкого проводника. В качестве такого проводника был выбран коаксиальный кабель. Для опоры и конструкции, задающей форму, был выбран вспененный полиэтилен. Аналогично с предыдущей моделью полиэтилен был нарезан на треугольники. Количество опор увеличилось в два раза, так как кабель при намотке провисал. Получившаяся антенна представлена на рис. 3.

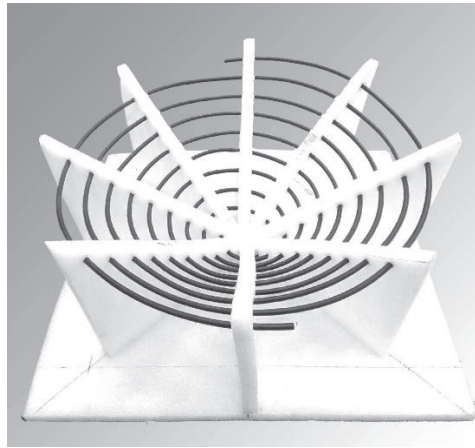


Рис.3 - Модель антенны спираль Архимеда, выполненная из коаксиального кабеля.

За счет упругости и гибкости кабеля выполнение намотки не было затруднено. Вспененный полиэтилен прост в обработке. Соединение деталей осуществлялось при помощи клеевого пистолета. В конечном итоге антенна получилась легкой, достаточно прочной, а ее форма близка к расчетной модели. Характеристики данной антенны были исследованы. Оказалось, что экспериментальные значения отличны от теоретических. И дело не только в погрешности изготовления, но и в используемых при изготовлении материалах. Так, в расчетах не учитывался материал, на котором выполнена антенна.

Для оценки влияния материалов, используемых при изготовлении антенны, в Ansys HFSS v14 была построена модель антенны по рис. 3. Весь объем антенны при моделировании заполнялся различными диэлектрическими материалами. За эталон следует принять модель с вакуумом. Перечень исследуемых материалов приведен в таблице 1.

Таблица 1. Исследуемые диэлектрические материалы

Материал	Относительная диэлектрическая проницаемость	Тангенс угла диэлектрических потерь
Вакуум	1	0
Полиэтилен	2.25	0.001
Оргстекло	3.4	0.001
Полиамид	4.3	0.004

Результаты, полученные при моделировании, приведены на рис. 4 и рис. 5. При моделировании питание антенны осуществлялось портом с сопротивлением в 50 Ом, значение коэффициента стоячей волны (КСВ) рассчитано относительно него. КСВ и импеданс антенны указаны для частот 200 МГц, 900 МГц и 1400 МГц.

Диаграмма направленности (ДН) приведена только в одной плоскости для частот 200 МГц и 1400 МГц. На рис. 5 наибольшая мощность излучения всегда соответствует частоте 1400 МГц.

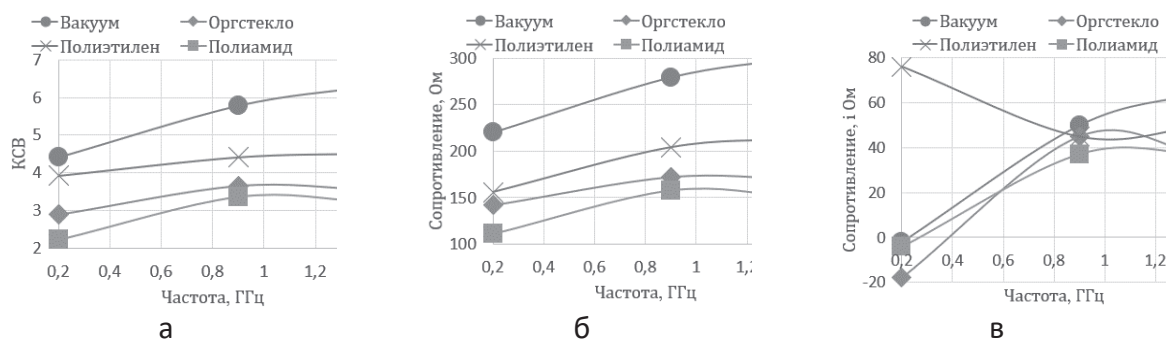


Рис. 4 - Влияние диэлектрических материалов в составе антенны на ее характеристики: а – КСВ; б – активная составляющая входного импеданса антенны; в – реактивная составляющая входного импеданса антенны.

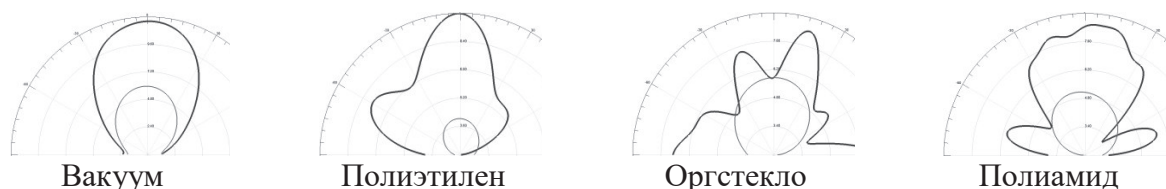


Рис. 5 - Влияние диэлектрических материалов на ДН антенны.

Низкочастотные колебания при прохождении сквозь диэлектрик испытывают небольшое преломление, в то время как высокочастотные колебания претерпевают значительно большие искажения. Чем выше относительная диэлектрическая проницаемость материала, тем сильнее это выражено. Так на частоте 1400 МГц при использовании полиамида, появились боковые лепестки, а мощность излучения вдоль оси антенны уменьшилась на 4 дБ. При этом мощность излучения на частоте 200 МГц осталась практически неизменной.

Входной импеданс антенны, а значит и ее КСВ, также зависит от выбора материалов. По результатам исследования входной импеданс антенны во всем диапазоне частот линейно уменьшается с увеличением относительной диэлектрической проницаемости материала. При использовании полиамида входное сопротивление антенны уменьшилось в 2 раза по сравнению с вакуумом.

Таким образом, при проектировании антенны уже на этапе теоретического расчета следует учитывать технические возможности ее изготовления. Сложным геометрическим формам следует предпочитать простые, даже если характеристики антенны будут ухудшаться. Необходимо заранее учитывать диэлектрические материалы, которые планируется использовать в антенне. При таком подходе изготовление антенны будет более простым, а предсказуемость характеристик наиболее высокой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.: *Де Агостини*, «Эврика! Радость открытия. Архимед. Закон Архимеда.» – Наука. Величайшие теории: выпуск 7, 2015г
2. *Nakano, H. et al.*, (1986). Axial mode helical antenna, IEEE Transaction on Antennas and propagation, Vol. AP-34. No 9, (September 1986), pp. 1143-1148, ISSN 0018-926x. [11] *Nakano, H.M. Mimaki and J. Yamauche.*, (1991). “Loaded Bifilar Helical antenna with small Radius and large pitch angle,” Electronics let., 27, 1568-1569.
3. *S.H. Zainud-Deen et al.*,(2012) Dielectric resonator antenna mounted on cylindrical ground plane for handheld RFID reader at 5.8GHz.
4. *А. Р. Бестугин, В. В. Горбацкий, В. Н. Красюк*, «Аналитические и экспериментальные исследования влияния диэлектрических покрытий на излучение апертурных антенн», – Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.
5. *С.Е. Банков, Э.М. Гутцайт, А.А. Курушин*. «Решение оптических задач и СВЧ задач с помощью HFSS» – Москва, Оркада, 2012г.

## **ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО ВИБРАЦИОННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ**

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

Ключевые слова: волоконно-оптические средства обнаружения, волоконно-оптический кабель, вибрации, лазерное излучение.

В статье рассмотрены проблемы и методы использования волоконно-оптического кабеля, в качестве датчиков для систем охраны периметра.

Целью данной статьи является исследование принципа действия вибрационных волоконно-оптических средств обнаружения и его предназначения.

A.Y. Derr, V.T. Kuanyshev

## **DESIGNATION AND DEVICE OF VIBRATION FIBER-OPTICAL DETECTORS**

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Ekaterinburg (UrTISI SibGUTI), Russia

Key words: fiber-optic detection tools, fiber-optic cable, vibration, laser radiation.

The article discusses the problems and methods of using fiber optic cable as sensors for perimeter security systems.

The purpose of this article is to study the principle of operation of vibrating fiber-optic detection tools and its purpose.

Вибрационные волоконно-оптические средства обнаружения необходимы для выявления нарушителя по создаваемым им вибрациям сигнализационного заграждения в момент проникновения на охраняемый объект.

Метод действия вибрационных волоконно-оптических СО основан на регистрации механических вибраций или изменения местоположения заграждения, возникающих при попытках нарушителя ликвидировать физический барьер.

Чувствительным элементом этих систем является специально разработанный волоконно-оптический кабель, изменяющий локальные деформации кабеля, зарождающиеся за счет механических вибраций, изменяющий характеристики лазерного излучения, который проходит через оптическое волокно. Установка кабеля производится зачастую к заграждению, либо к специализированному металлическому козырьку находящимся над ним. Блок обработки сигналов фиксирует изменение характеристик лазерного излучения. Блок обработки сигналов благодаря заданному алгоритму выдает сигнал тревоги. Оптический квантовый генератор и монитор входят в состав вибрационного волоконно-оптического извещателя [3, с. 221]

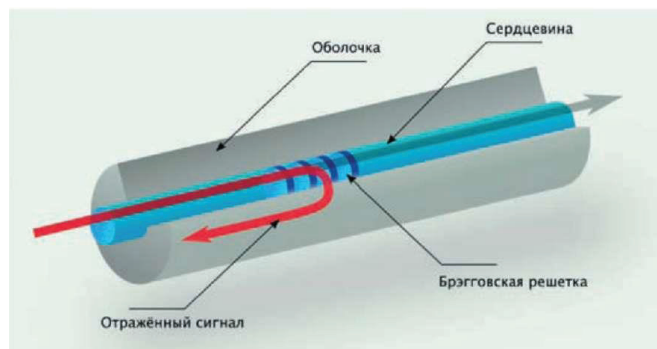


Рисунок 1- Регистрация лазерного излучения, отраженного от неоднородностей оптического волокна

Волоконно-оптические кабели, которые обычно используются для передачи информации, также можно задействовать как датчики для систем охраны территории. Характеристики, которые проходят через волокно излучения и оптические параметры изменяются при деформации оптического волокна. Учитывая особенности используемых физических принципов оптоволоконные системы различаются очень малой восприимчивостью к электромагнитным помехам, позволяющие применять их в негативной электрофизической обстановке [5, с. 11]

Оптическое волокно включает в себя коаксиальный световод. Распространение света проходит вдоль центральной части кабеля. К центральной части волокна прилегает прозрачная оболочка, имеющая меньший показатель преломления, в отличие от центральной части. Свет, который распространяется под углом к оси световода, отражается от границы раздела между центральной частью и оболочкой, концентрируется в сердцевине волокна. Внешним непрозрачным покрытием является механическая защита кабеля.

Устройство производит работу следующим образом:

Выбор рабочей длина волны одночастотного лазера происходит в диапазоне 1,53-1,58 мкм, чтобы использовать волоконные эрбиевые оптические усилители как малошумящие квантовые предварительные усилители в качестве повышения чувствительности фотоприемников в основу которых входят фотодиоды на гетероструктурах InGaAs, применяемых в интерферометре Майкельсона как квадратичные детекторы в отношении к световым полям интерферирующих оптических лучей из опорного и измерительного каналов, которые, благодаря направленного разветвителю X-типа пространственно объединяются в одном выходном одномодовом волоконном канале и движутся через оптический усилитель в фотоприемник. Одномодовый разветвитель X-типа берется с разделением излучения в соотношении приблизительно 50 на 50, это означает, что в опорное плечо и измерительное плечо направлена одинаковая приблизительно оптическая мощность зондирующего излучения.

Одномодовые оптические волокна у которых рабочая длина составляет приблизительно 1,56 мкм, которая основывается на кварцевом стекле, содержат оптические потери на уровне 0,2 дБ/км. Это означает, что при двукратном прохождении измерительного или опорного плеча длиной  $L_{и} \approx L_{о}=100$  км лазерное излучение на фотоприемник приходит с ослаблением максимум на ~44 дБ в каждом канале. На фотоприемник без использования оптического усилителя, с мощностью лазерного излучения ~1 мВт поступает оптическая мощность с каждого канала ~(-44) дБм ( $\approx 30$  нВт).

Чтобы произвести регистрацию постоянных и низкочастотных световых сигналов, в области 1,5 мкм типовые фотоприемники имеют порог чувствительности на уровне 1 нВт. Это означает, фотоприемное устройство системы регистрации виброакустических сигналов работает с отношением сигнал/шум на выходе не менее 30, свидетельствующее о том, что системы регистрации работают качественно. Использование эрбиевых волоконных оптических усилителей как малошумящие квантовые предусилители перед фотоприемником позволяет с легкостью усилить оптический сигнал не менее, чем на 20 дБ и увеличить отношение сигнал/шум на выходе системы обработки не меньше, чем на два порядка, чтобы его значение стало не менее тысячи, достаточного для высококачественной записи и обработки сигналов.



Одним из главных условий для стабильной работы системы регистрации виброакустических сигналов является использование источника как одночастотного лазера с узкой спектральной линией и длиной когерентности излучения  $L_k \approx 10$  км. Это означает, что в измерительной схеме волоконного интерферометра Майкельсона отсутствует необходимость в точном выравнивании длин плеч опорного и измерительного плеч до выполнения равенства  $L_n = L_o$ , а допустима разность длин плеч  $|L_n - L_o| = L_k \approx 10$  км.

Проконтролировать и измерить длину распределенной измерительной волоконно-оптической линии связи можно благодаря стандартной аппаратуре - волоконно-оптическими рефлектометрами типа AQ7250. При необходимости произвести выбор опорного плеча  $L_o$  в оптоэлектронном блоке, при этом изменить волокно с точностью  $\sim 1$  км. Для степени когерентности  $\gamma$ -излучения лазерного источника, когда разность длин плеч составляет  $|L_n - L_o| = 10$  км, выражается следующей формулой:

$$\gamma = \exp(-\Delta v \cdot \tau / 2), \quad (1)$$

где,  $\Delta v = c/nL_k$  - ширина спектральной линии в среде с показателем преломления  $n$ ,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с - скорость света в вакууме,

$\tau = 2(|L_n - L_o|)/(c/n)$  - задержка по времени хода интерферирующих лучей,

$n \approx 1,5$  - показатель преломления сердцевины одномодового волокна (показатель замедления групповой скорости).

Степенью когерентности  $\gamma$ -излучения совпадает с видимостью  $V$  на выходе интерферометра, то есть  $V = \gamma$ , если интенсивности интерферирующих лучей одинаковы и поля по поляризации согласованы.

При разности длин плеч в волоконном интерферометре Майкельсона  $|L_n - L_o| = L_k \approx 10$  км видность (контраст)  $V$  интерференционных биений интенсивности  $I$  на выходе интерферометра Майкельсона  $V = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$  уменьшится от 1 до величины, которая определяется вышеприведенной формулой для  $\gamma = V$ . При указанных параметрах оценки для излучения в одномодовом оптическом волокне дают  $V = \gamma = e^{-1} = 0,38$ .

Это означает, что видность интерференционного отклика регистрирующей системы сохранится на уровне не менее  $V \approx 40\%$ , это обеспечит работоспособность интерферометра, если выравниванию длин плеч не критично ( $\sim 10$  км). Это достаточно упрощает систему построения и обеспечивает безопасную регистрацию виброакустических сигналов с высокой (интерференционной) чувствительностью в части, зависящих от ширины спектральной линии излучения взятого одночастотного лазерного источника для достижения цели изобретения. При длинах плеч  $L_n - L_o \sim 100$  км рабочая точка волоконного интерферометра Майкельсона является плавающей, что обеспечивает надежную регистрацию максимальной амплитуды вибрационного или акустического сигнала.

Вибрационные воздействия на одномодовое волокно в распределенной измерительной волоконно-оптической линии связи, вызывают модулирующее воздействие на оптическую несущую когерентного лазерного излучения в сердцевине волокна, так как достаточно тонкое и имеет внешний диаметр примерно  $\approx 125$  мкм), оно достаточно просто изменяется при креплении его на вибрирующем корпусе механизма или установки, делая отсылку на деформацию корпуса. Модуляция фазы оптической несущей излучения производит преобразование на выходе волоконного интерферометра Майкельсона в амплитудную модуляцию электрического сигнала после фотодетектора, дальше производит обработку и регистрацию как обычный звуковой сигнал.

Линейные отрезки волоконно-оптических линий связи также могут производить регистрацию звуковых волн, которые могут передаваться в таких средах, как воздушная, так и водная, также по коммуникациями и различным механизмам. При длине линейного отрезка волокна примерно 10 см его чувствительность может быть неотличимой от других расположенных поблизости таких же линейных участков волоконно-оптической линии связи. Намотка волокна на катушки диаметром примерно 10 см позволит увеличить локальную чувствительность к акустическим сигналам таких многовитковых элементов или катушек с



волокном, которые пропорциональны длине намотанного волокна в сравнении с длиной линейного участка 10 см.

Этот факт возрастания чувствительности к регистрации звуковых волн пропорционально длине волокна в многовитковом элементе или катушке хорошо известен и экспериментально проверен многими работами других авторов. Для технической реализации преимуществ волоконно-оптических виброакустических систем, для которых имеются микрофоны и датчики вибрации, необходимы дальнейшие исследования, а также совершенствование их конструкций, организация мелкосерийного производства и тестирование в реальных практических задачах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абросимова, М. А.* Информационные технологии в государственном и муниципальном управлении: Учебник / М. А. Абросимова.- М.: КноРус, 2013 .-248 с.
2. *Акперов И.Г.* Информационные технологии в управлении: Учебник / И.Г. Акперов А.В. Сметанин И.А. Коноплева. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013 .-- 400 с.
3. *Атков О.Ю.* Персональная телемедицина. Телемедицина и информационные технологии реабилитации и управления здоровьем / О.Ю. Атков Ю.Ю. Кудряшов. - М.: Практика, 2015 .-- 248 с.
4. *Афонин, П.Н.* Таможенные информационные технологии: Учебник / П.Н. Афонин. - Санкт-Петербург: Троицкий мост, 2012 .-- 352 гр.
5. *Балдин К.В.* Информационные технологии в управлении: Учеб. для шпильки. вузы проф. образование / К.В. Балдин. - М.: Академия информационных технологий, 2012 .-- 288 с.
6. *Барский А.В.* Параллельные информационные технологии: Учебник / А.В. Барский. - М.: Бином, 2013 .-- 503 с.

## **МЕТОДЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ (РЭС) СТАНДАРТА DMR (DIGITAL MOBILE RADIO) ВНУТРИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛОЩАДЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

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

Ключевые слова: цифровые системы радиосвязи, позиционирование РЭС, трилатерация, управление производством.

В статье рассмотрены проблемы и методы позиционирования РЭС системы цифровой радиосвязи стандарта DMR внутри производственных площадей промышленного предприятия.

Целью данной статьи является моделирование методов позиционирования носимых РЭС внутри производственных площадей промышленного предприятия.

**K.B. Utkin, V.T. Kuanyshev**

## **METHODS OF POSITIONING RADIO ELECTRONIC MEDIA COMMUNICATIONS OF THE DMR STANDARD (DIGITAL MOBILE RADIO) INSIDE THE PRODUCTION AREAS OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE**

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: digital radio communication systems, positioning of radio electronic equipment, trilateration, production management.

The article discusses the problems and methods of positioning electronic radio communications (ERC) of the digital radio communication system of the DMR standard inside the production facilities of an industrial enterprise.

The purpose of this article is to develop an optimal model of a digital radio communication system of the DMR standard with the possibility of positioning portable and mobile subscriber ERC in the open space and inside the production facilities of an industrial enterprise.

Главным решением профессиональной двусторонней радиосвязи сегодня является переход с аналоговых стандартов на цифровые. Цифровые системы радиосвязи имеют множество преимуществ перед аналоговыми: повышенное качество передачи речи, большая дальность действия, улучшенная защита от прослушивания, прогрессивные возможности управления вызовами, возможность интеграции с системами передачи данных и т.д.

Современный переход на стандарт цифровой радиосвязи открывает новые возможности управления производством, поскольку крупные промышленные предприятия имеют свою развитую инфраструктуру, например, логистические центры, железнодорожные службы и т.д.

Существуют системы оперативной цифровой радиосвязи (СОЦР), которые позволяют осуществлять прием и передачу телеметрии в сетях стандарта DMR (Digital Mobile Radio). В стандарте DMR [1] [3] применяется модуляция типа 4FSK со скоростью передачи данных до 9600 бит/с и классом излучения F1W, который обеспечивает целый ряд сервисных возможностей, недоступных обычным аналоговым системам радиосвязи. Он поддерживает передачу IP-данных по радиоканалу и позволяет легко создавать и применять такие приложения, как обмен текстовыми сообщениями, телеметрия, дистанционное управление удалёнными радиостанциями, предоставление различных приоритетов экстренным вызовам, а также позиционирование носимых и мобильных РЭС при помощи GPS и ГЛОНАС [3] [4] [5].

По своему роду деятельности железнодорожные службы осуществляют работы внутри производственных цехов: выгрузка металла, составление вагонной продукции, доставка грузов

и системы GPS и ГЛОНАС, основанные на приеме спутниковых сигналов, становятся бесполезны.

Из-за экранированности металлическими конструкциями и стеновыми перекрытиями цехов, прием и передача речевой информации и данных за частую не возможна.

В настоящей работе рассматривается модель позиционирования носимых и мобильных РЭС стандарта DMR находящихся внутри производственных площадей промышленных предприятий [2] [3] [5] [12].

В современных СОЦР применяются два способа позиционирования: однонаправленное позиционирование методом трилатерации с использованием разницы во времени прибытия и путем расчета координат РЭС, по расстояниям от РЭС до приемников, с известными координатами по широте ( $x_a, x_b, x_c$ ) и долготе ( $y_a, y_b, y_c$ ) [7] [9], а так же полученным двунаправленным измерением дальности по времени распространения сигнала (ToF – time of flight) [12].

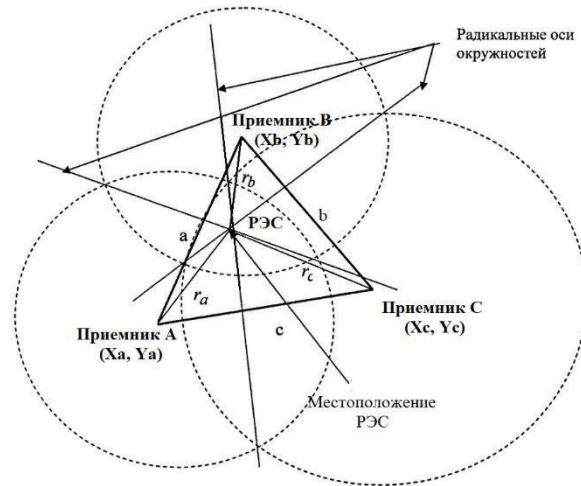


Рис. 1 - Схема расположения приемников и позиционируемого РЭС в одной плоскости

Как видно на рисунке 1, РЭС посылает сигнал, получаемый тремя приемниками с известными координатами в момент времени  $t(o)$  (свой для каждого приемника). Расстояния  $r_a, r_b, r_c$  от приемников А, В, С до позиционируемого РЭС определяются через координаты центров окружностей:

$$(x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = r_a^2, \quad (1)$$

$$(x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 = r_b^2, \quad (2)$$

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r_c^2, \quad (3)$$

Потери сигнала при распространении в пространстве от РЭС к приемнику пропорциональны квадрату расстояния между приемником и РЭС [7]. В соответствии с этим измеряют уровни сигналов  $P_a, P_b$  и  $P_c$  на входе приемников и попарно определяют отношение расстояний от РЭС до соответствующих приемников А и В, а также В и С:

$$\frac{P_c}{P_a} = \frac{r_a}{r_c} = l_{ac}, \quad (4)$$

Отсюда можно получить выражения для относительных квадратов расстояний радиусов  $r_a^2$  и  $r_b^2$ , выраженных через  $r_c^2$ :

$$r_a^2 = l_{ac}^2 r_c^2 \text{ и } r_b^2 = l_{bc}^2 r_c^2, \quad (5)$$

Пусть приемники и РЭС находятся в одной плоскости, (объем четырехвершинной фигуры, см. рис.1, равен нулю,  $V=0$ ), а диаграммы направленности антенн круговые и находятся в горизонтальной плоскости [6]. Тогда коэффициенты  $l_{ac}^2$  и  $l_{bc}^2$  зависят от положения приемников А, В, С и позиционируемого РЭС.

С помощью определителя Кэли-Менгера, многочлен  $\Delta$  разлагается на следующие множители [8]:

$$\Delta = a^2 r_c^4 + b^2 r_a^4 + c^2 r_b^4 - (-a^2 + b^2 + c^2)(a^2 r_c^2 + r_b^2 r_a^2) - (a^2 - b^2 + c^2)(b^2 r_a^2 + r_b^2 r_c^2) -$$

$$(a^2 + b^2 - c^2)(c^2 r_b^2 + r_a^2 r_c^2) + a^2 b^2 c^2 = 0, \quad (6)$$

После преобразования выражения для определителя (6) с учетом введенных отношений расстояний-радиусов получим уравнение относительно неизвестного расстояния  $r_c$ :

$$Ar_c^4 + Br_c^2 + E = 0, \quad (7)$$

где:  $A = (-a^2 + b^2 + c^2)l_{ac}^2 l_{bc}^2 + (a^2 - b^2 + c^2)l_{bx}^2 + (a^2 + b^2 - c^2)l_{ac}^2 - a^2 - -b^2 l_{ac}^4 - c^2 l_{bc}^2$ ;

$$B = (-a^2 + b^2 + c^2)a^2 + (a^2 - b^2 + c^2)b^2 l_{ac}^2 ;$$

$$E = -a^2 b^2 c^2 .$$

Тогда из уравнения (7) следует:  $r_c = \sqrt{\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AE}}{2A}}$ .

Потери на трассе в закрытом помещении определяются следующим уравнением [11]:

$$L(x) = -10\alpha\{1,4 - \log_{10}(f) - \log_{10}(r)\} + \delta \cdot r + C, \quad (8)$$

где:  $f$  – частота, (МГц);  $r$  – расстояние, (м).

В качестве дополнительного режима предусматривается двухсторонняя связь РЭС с узлами инфраструктуры, в частности измерение расстояния между ними по времени распространения радиосигнала [12] [13]. В двухсторонней связи используются более длинные сообщения. Приемники должны работать как передатчики. Метод измерения расстояния по ToF обеспечивает наивысшую точность (10 см) и не требует специальной синхронизации приемников [10].

Последовательность обмена пакетами в процессе измерения расстояния между РЭС и узлом инфраструктуры показана на рисунке 2.

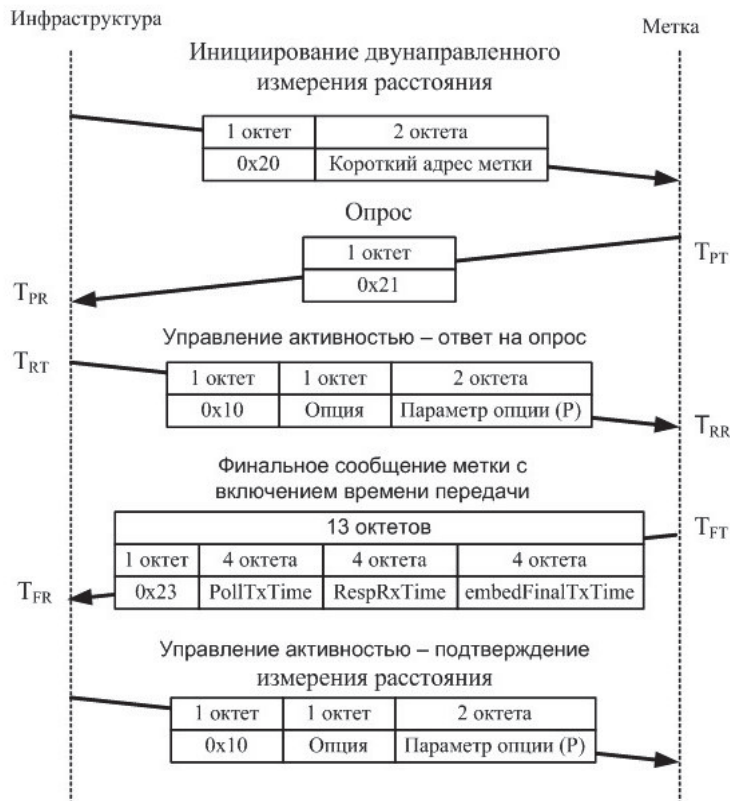


Рис. 2 - Последовательность обмена пакетами

В процессе обмена фиксируются метки времени, показанные на диаграмме. Расстояние между РЭС и узлом инфраструктуры и определяется в следующем виде [11]:

$$R = \frac{1}{4} \times c \times (2T_{RR} - 2T_{RT} - T_{PT} + T_{PR} + T_{FR} - T_{FT}), \quad (9)$$

где  $c = 3 \times 10^8$  м/с.

Преимуществами однонаправленного метода позиционирования является использование

только коротких посылок, что снижает энергопотребление, и радиочастотный ресурс, что позволяет увеличить число РЭС на ограниченной территории.

Однако использование разницы во времени прибытия требует более качественной синхронизации приемного оборудования, т.к. от этого зависит точность позиционирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DMR-ETSI TS 102 361 - [https://portal.etsi.org/webapp/workprogram/LogonRedirection.asp?wiki\\_id=44169](https://portal.etsi.org/webapp/workprogram/LogonRedirection.asp?wiki_id=44169) Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) General System Design.
2. Traceme — indoor real-time location system. 2721-2725.0.1109/IECON.2009.5415425.
3. Motorola- [https://www.motorolasolutions.com/ru\\_ru/products/mototrbo.html](https://www.motorolasolutions.com/ru_ru/products/mototrbo.html).
4. BlueNRG Current Consumption Estimation Tool 1.2. [https://www.st.com/resource/en/data\\_brief/stsw-bnrg001.pdf](https://www.st.com/resource/en/data_brief/stsw-bnrg001.pdf).
5. IntegraPro - [https://www.integra-pro.com/rus/lib/articles/conventional\\_DMR](https://www.integra-pro.com/rus/lib/articles/conventional_DMR).
6. *Сабитов И. Х.* Объем многогранника как функция длин его ребер // *Фундам. и прикладн. математика.* 1996. Т. 2, № 4. С. 1235–1246
7. *Козирацкий Ю. Л., Паринов М. Л.* Методический подход к определению ме-стоположения источника электромагнитного излучения // *Радиотехника.* — 2010. — №8. — С. 77—82.
8. *Берже М.* Геометрия. М.: Мир, 1984. Т. 1
9. *Alsehly F., Mohd Sabri R. Sevak Z., Arslan T.,* Improving Indoor Positioning Accuracy through Handover Algorithm. Proceedings of International Technical Meeting of the Institute of Navigation, 2010. pp. 822–829. (In Russ.).
10. *Debus W.* RF Path Loss & Transmission Distance Calculations. Axonn. Technical Memorandum. 2006. pp. 1-13.
11. Рекомендация МСЭ - R 1546-4. Метод прогнозирования для трасс связи «пункта с зоной» для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц. – Женева: МСЭ, 2010.
12. *Пальчик О.В., Горкин В.Н.* Обобщение интегральных методов оценки положения импульса методом циклической свёртки // *Информационные технологии моделирования и управления.* – 2005.– № 3(21).– С. 375-383.
13. Справочник по радиоконтролю. Международный союз электросвязи. - Женева: Бюро радиосвязи. 2002. - 585 с.
14. Kilchherr Elektronik AG – <https://www.kilchherr.com>.

## СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ МНОГОСЕРВИСНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

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

Ключевые слова: пограничные вычисления, распределение ресурсов.

Рассмотрена беспроводная сеть, в которой каждая базовая станция (БС) оснащена сервером и может помочь мобильным пользователям выполнять задачи, требующие большого объема вычислений, путем разгрузки задач. Проблема совместной выгрузки задач и распределения ресурсов изучается для того, чтобы повысить выгоду от выгрузки задач пользователей, что измеряется сокращением времени выполнения задач и энергопотребления.

E.V. Yurchenko, N.V. Budyldina

## SYSTEM DISTRIBUTION HORIZONTAL INTERACTION FOR MULTI-SERVICE COMPUTER NETWORKS

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Key words: border computing, resource allocation.

A wireless network is considered in which each base station (BS) is equipped with a server and can help mobile users to perform tasks that require a large amount of computation by offloading tasks. The problem of joint task unloading and resource allocation is being studied in order to increase the benefits of user unloading tasks, which is measured by reduced task execution time and energy consumption.

Быстрый рост мобильных приложений и Интернета вещей (IoT) предъявляет жесткие требования к облачной инфраструктуре и сетям беспроводного доступа, таким как сверхнизкая задержка, непрерывность взаимодействия с пользователем и высокая надежность. Эти требования приводят к необходимости локализованных услуг на границе сети в непосредственной близости от оконечных пользователей. В свете этого появилась концепция Mobile-Edge Computing (MEC) [1], которая направлена на объединение телекоммуникационных, IT и облачных вычислений для предоставления облачных услуг непосредственно от границы сети.

Рассмотрим много-серверную систему, как показано на рисунке 1, в которой каждая БС оборудована сервером MEC для предоставления услуг разгрузки вычислений для мобильных пользователей с ограниченными ресурсами, таких как смартфоны, планшеты и мобильные устройства. В общем, каждый сервер MEC может быть либо физическим сервером, либо виртуальной машиной с умеренными вычислительными возможностями, предоставляемыми оператором сети, и может связываться с мобильными устройствами через беспроводные каналы, предоставляемые соответствующей БС. Обозначим множество пользователей и серверов MEC в мобильной системе как  $U = \{1, 2, \dots, U\}$  и  $S = \{1, 2, \dots, S\}$  соответственно. Для простоты представления будем ссылаться на сервер MEC  $s$ , сервер MEC  $s$  и БС взаимозаменяемы.



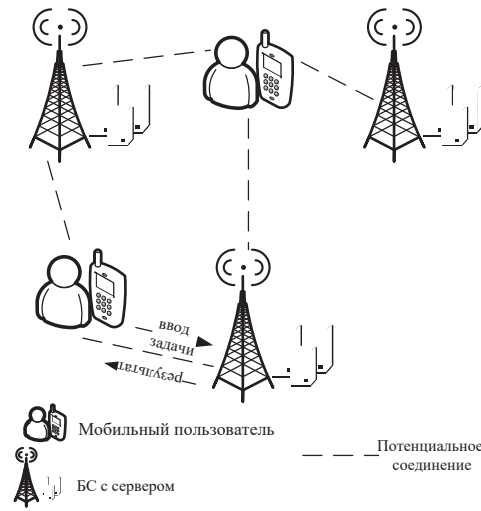


Рис. 1 - Пример сотовой системы с серверами, развернутыми на БС

Рассмотрим распределение ресурсов для данной системы:

1. Пользовательские вычислительные задачи. Каждый пользователь  $u \in U$  имеет одну вычислительную задачу за раз, обозначаемую как  $T_u$ , которая является единой и не может быть разделена на подзадачи. Каждая вычислительная задача  $T_u$  характеризуется набором из двух параметров,  $\langle d_u, c_u \rangle$ , в котором  $d_u$  [биты] определяет количество входных данных, необходимых для передачи выполнения программы из локального устройства на сервер, а  $c_u$  [циклы] определяет рабочую нагрузку, т. е. объем вычислений для выполнения задачи. Значения  $d_u$  и  $c_u$  могут быть получены путем тщательного сбора характеристик выполнения задачи [2]. Каждая задача может быть выполнена локально на пользовательском устройстве или выгружена на сервер. Выгружая вычислительную задачу на сервер, мобильный пользователь экономит свою энергию для выполнения задачи; однако это потребовало бы дополнительного времени и энергии для отправки входных данных задачи в восходящей линии связи.

Пусть  $f_u^l > 0$  обозначает локальные вычислительные возможности пользователя  $u$  в терминах циклов/с ЦП. Следовательно, если пользователь  $u$  выполняет свою задачу локально, время выполнения задачи составляет  $f_u^l = \frac{c_u}{f_u^l}$  [секунд]. Чтобы рассчитать энергопотребление пользовательского устройства при локальном выполнении его задачи, используем модель энергопотребления на вычислительный цикл как  $\mathcal{E} = \kappa f^2$  [3], где  $\kappa$  - коэффициент энергии, а  $f$  - частота процессора. Таким образом, энергопотребление  $E_u^l$  [J] пользователя  $u$  при локальном выполнении его задачи  $T_u$  рассчитывается как:

$$E_u^l = \kappa (f_u^l)^2 c_u \quad (1)$$

2. Загрузка задачи. В случае, если пользователь  $u$  выгружает свою задачу  $T_u$  на один из серверов, возникшая задержка которая содержит: время  $t_{up}^u$  [s] для передачи ввода на сервер по восходящей линии связи, время  $t_{exe}^u$  [s] для выполнения задачи на сервере и времени для передачи выходных данных с сервера обратно пользователю по нисходящей линии связи.

Рассмотрим систему с OFDMA как схему множественного доступа в восходящей линии связи, в которой рабочая полоса частот  $B$  разделена на  $N$  равных поддиапазонов размером  $W = B/N$  [Гц]. Чтобы обеспечить ортогональность передач по восходящей линии связи среди пользователей, связанных с одной и той же БС, каждому пользователю назначается один поддиапазон. Таким образом, каждая БС может одновременно обрабатывать не более чем с  $N$  количеством пользователей. Пусть  $\mathcal{N} = \{1, \dots, N\}$  будет набором доступного поддиапазона в каждой БС. Определим переменные разгрузки задачи, которые также включают планирование поддиапазонов восходящей линии связи, как  $x_{us}^j$ ,  $u \in U, s \in S, j \in \mathcal{N}$ , где  $x_{us}^j = 1$  указывает, что задача  $T_u$  от пользователя  $u$  выгружается в БС  $s$  на суб-полосу  $j$  и  $x_{us}^j = 0$  в противном случае. Определим базовый набор  $\mathcal{G}$ , который содержит все переменные разгрузки задачи, как  $\mathcal{G} =$

$\{x_{us}^j | u \in U, s \in S, j \in \mathcal{N}\}$ , и политику разгрузки задачи  $\mathcal{X}$ , выраженную как  $\mathcal{X} = \{x_{us}^j \in \mathcal{G} | x_{us}^j = 1\}$ , Поскольку каждая задача может быть выполнена локально или выгружена не более чем на один сервер, разгрузка должна удовлетворять приведенному ниже ограничению.

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in \mathcal{N}} x_{us}^j \leq 1, \forall u \in U. \quad (2)$$

Обозначим  $U_s = \{u \in U | \sum_{j \in \mathcal{N}} x_{us}^j = 1\}$  как набор пользователей, которые выгружают свои задачи на сервер  $s$ , а  $U_{off} = \bigcup_{s \in S} U_s$  – как набор пользователей, которые выгружают свои задачи.

Каждый пользователь и БС имеют одну антенну для передачи по восходящей линии связи. Обозначим  $h_{us}^j$  как усиление канала восходящей линии связи между пользователем  $u$  и БС  $s$  в поддиапазоне  $j$ , которое фиксирует влияние потерь на трассе, затенения и усиления антенны. Пусть  $\mathcal{P} = \{p_u | 0 < p_u \leq P_u, u \in U_{off}\}$  обозначает мощность передачи пользователя, где  $p_u [W]$  – мощность передачи пользователя  $u$  при загрузке ввода  $I_u$  его задачи в БС при условии максимума  $P_u$ . Отметим, что  $p_u = 0, \forall u \in U_{off}$ . Поскольку пользователи, работающие с одной и той же БС, используют разные поддиапазоны, внутрисотовые помехи восходящей линии связи снижаются; тем не менее, появляются межсотовые помехи. В этом случае отношение сигнал-шум-помеха от пользователя  $u$  к БС  $s$  в поддиапазоне  $j$  задается как:

$$\gamma_{us}^j = \frac{p_u h_{us}^j}{\sum_{k \in U \setminus U_s} x_{ks}^j p_k h_{ks}^j + \sigma^2}, \forall u \in U, s \in S, j \in \mathcal{N}, \quad (3)$$

где  $\sigma^2$  – дисперсия фонового шума, а первый член в знаменателе – это накопленные внутрисотовые помехи от всех пользователей, связанных с другими БС в том же поддиапазоне  $j$ . Поскольку каждый пользователь передает только в одном поддиапазоне, достижимая скорость [бит/с] пользователя  $u$  при отправке данных в БС  $s$  задается как:

$$R_{us} = W \log_2(1 + \gamma_{us}), \quad (4)$$

где  $\gamma_{us} = \sum_{j \in \mathcal{N}} \gamma_{us}^j$ . Кроме того, пусть  $x_{us} = \sum_{j \in \mathcal{N}} x_{us}^j, \forall u \in U, s \in S$ . Следовательно, время передачи пользователя  $u$  при отправке входной его задачи  $d_u$  в восходящей линии связи может быть рассчитано как:

$$t_{up}^u = \sum_{s \in S} \frac{x_{us} d_u}{R_{us}}, \forall u \in U. \quad (5)$$

3. Вычислительные ресурсы сети. Вычислительные ресурсы, предоставляемые каждым сервером для совместного использования пользователями, количественно оцениваются вычислительной скоростью  $f_s$ , выраженной в виде числа циклов/с ЦП. После получения выгруженной задачи от пользователя сервер ее выполняет от его имени и по завершении возвращает результат вывода обратно пользователю. Определим процесс выделения вычислительных ресурсов как  $\mathcal{F} = \{f_{us} | u \in U, s \in S\}$ , в которой  $f_{us}$  [циклов/с]  $> 0$  – это объем вычислительного ресурса, который БС  $s$  выделяет для задачи  $T_u$ , выгруженной от пользователя  $u \in U_s$ . Из чего следует, что  $f_{us} = 0, \forall u \in U_s$ . Кроме того, допустимая процесс выделения вычислительных ресурсов должен удовлетворять ограничению вычислительных ресурсов, выраженному как:

4.

$$\sum_{u \in U} f_{us} \leq f_s, \forall s \in S. \quad (6)$$

Учитывая назначение вычислительного ресурса  $\{f_{us}, s \in S\}$ , время выполнения задачи  $T_u$  на серверах составляет:

$$t_{exe}^u = \sum_{s \in S} \frac{x_{us} c_u}{f_{us}}, \forall u \in U. \quad (7)$$

5. Пользовательская программа выгрузки. Принимая во внимание процесс разгрузки  $\mathcal{X}$ , мощность  $p_u$  передачи и  $f_{us}$  распределения вычислительных ресурсов, общая задержка, с которой пользователь  $u$  сталкивается при разгрузке своей задачи, определяется как:

$$t_u = t_{up}^u + t_{exe}^u = \sum_{s \in S} x_{us} \left( \frac{d_u}{R_{us}} + \frac{c_u}{f_{us}} \right), \forall u \in U. \quad (8)$$

Потребление энергии пользователем  $u, E_u [J]$ , из-за загрузки передачи вычисляется как  $E_u = \frac{p_u t_{up}^u}{\xi_u}, \forall u \in U$ , где  $\xi_u$  - эффективность усилителя мощности пользователя  $u$ . Без ограничения общности предположим, что  $\xi_u = 1, \forall u \in U$ . Таким образом, потребление энергии восходящей линии связи пользователя  $u$  упрощается до:

$$E_u = p_u t_{up}^u = p_u d_u \sum_{s \in S} \frac{x_{us}}{R_{us}}, \forall u \in U. \quad (9)$$

В системе мобильных облачных вычислений пользователей в основном характеризуется временем выполнения задач и энергопотреблением. В рассматриваемом распределении относительное улучшение времени выполнения задачи и энергопотребления характеризуется  $\frac{t_u^l - t_u}{t_u^l}$  и  $\frac{E_u^l - E_u}{E_u^l}$ . Поэтому определяем разгрузку пользователя  $u$  как,

$$J_u = \left( \beta_u^t \frac{t_u^l - t_u}{t_u^l} + \beta_u^e \frac{E_u^l - E_u}{E_u^l} \right) \sum_{s \in S} x_{us}, \forall u \in U, \quad (10)$$

в котором  $\beta_u^t, \beta_u^e \in [0, 1]$ , с  $\beta_u^t + \beta_u^e = 1, \forall u \in U$ , определяют предпочтения пользователя  $u$  по времени выполнения задачи и энергопотреблению соответственно.

Выражения времени выполнения задачи и энергопотребления в (10) ясно показывают взаимодействие между радиодоступом и вычислительными аспектами, что показывает необходимость совместной оптимизации планирования разгрузки, радиосвязи и вычислительных ресурсов, чтобы оптимизировать полезность разгрузки пользователей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Y. C. Hu, M. Patel, D. Sabella, N. Sprecher, and V. Young.* «Мобильные краевые вычисления - ключевая технология на пути к 5G» ETSI White Paper, vol. 11, 2015. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://www.etsi.org/images/files/etsiwhitepapers/etsi\\_wp11\\_mec\\_a\\_key\\_technology\\_towards\\_5g.pdf](https://www.etsi.org/images/files/etsiwhitepapers/etsi_wp11_mec_a_key_technology_towards_5g.pdf)
2. *A. P. Miettinen and J. K. Nurminen.* «Энергоэффективность мобильных клиентов в облачных вычислениях», в Proc. USENIX Conf. Горячие темы Cloud Comput. (HotCloud), июнь 2010 г. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/228328672\\_Energy\\_efficiency\\_of\\_mobile\\_clients\\_in\\_cloud\\_computing](https://www.researchgate.net/publication/228328672_Energy_efficiency_of_mobile_clients_in_cloud_computing)
3. *X. Chen.* «Игра о разгрузке децентрализованных вычислений для мобильных облачных вычислений», в *транзакциях IEEE на параллельных и распределенных системах*, вып. 26, нет 4, с. 974-983, 1 апреля 2015 г. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1404.3200.pdf>

## К ВОПРОСУ О КАЧЕСТВЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ МОНИТОРИНГА ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДОСТУПА

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ), г.  
Новосибирск, Россия

Ключевые слова: пассивные оптические сети доступа, показатели качества контроля, ошибки контроля 1-го и 2-го рода, бинарная классификация.

В статье рассматривается в общем виде задача контроля некоторого элемента сети доступа. Этот элемент может находиться в двух состояниях: норма и отказ. Речь идет о бинарной классификации, используемой в машинном обучении. В работе описаны показатели качества бинарной классификации, приведены некоторые соотношения, отражающие качество работы устройств мониторинга пассивных оптических сетей доступа с позиции бинарной классификации.

V.P. Shuvalov, I.G. Kvitkova

## ON THE ISSUE OF THE QUALITY OF MONITORING DEVICES FOR PASSIVE OPTICAL ACCESS NETWORKS

Siberian state University of Telecommunications and Informatics (SibGUTI),  
Novosibirsk, Russia

Keywords: passive optical access networks, quality control indicators, type I and II control errors, binary classification.

The article considers in general terms the task of controlling some element of the access network. This element can be in two states: normal and failure. This is a binary classification used in machine learning. The paper describes the quality indicators of binary classification, some relations a given that reflect the quality of monitoring devices work for passive optical access networks from the position of binary classification.

### 1. Введение

Обеспечение широкополосных услуг с высокой надёжностью является одной из важнейших задач, стоящих перед оператором. Эта задача включает в себя улучшение показателей надёжности и отказоустойчивости путём автоматизации процессов обнаружения отказов [1-3] и др.

Диагностика отказов сводится к обнаружению и локализации различных типов отказов, которые приводят к деградации качества услуг или их недоступности.

В [4] приведена статистика отказов применительно к пассивной оптической сети доступа GPON, которая может служить для выработки требований к устройствам мониторинга сети доступа, исходя из влияния отказов тех или иных элементов сети на качество предоставляемых услуг широкополосного доступа. Фактор влияния отказа элементов сети можно вычислить по формуле [5]

$$FI = N \cdot K_{\text{нг}},$$

где  $FI$  – фактор влияния (Failure Impact);

$N$  – число ONU (Optical Network Unit), которые лишились связи в результате отказа;

$K_{\text{нг}}$  – коэффициент неготовности.

Описание различных систем мониторинга оптических сетей доступа можно найти в [6 - 8] и др.

В данной работе рассмотрена в общем виде задача контроля некоторого элемента сети доступа, который может находиться в двух состояниях: норма и отказ. Данная задача является задачей бинарной классификации.

## 2. Показатели качества бинарной классификации

В литературе к показателям бинарной классификации чаще всего относят [9, 10]:

- 1) ошибки контроля 1-го и 2-го рода;
- 2) полноту и точность;
- 3) ROC-кривую (Receiver Operator Characteristic) – кривую, которая используется для представления результатов бинарной классификации в машинном обучении. [10]

Рисунок 1 служит пояснением понятий ошибок 1-го и 2-го рода.

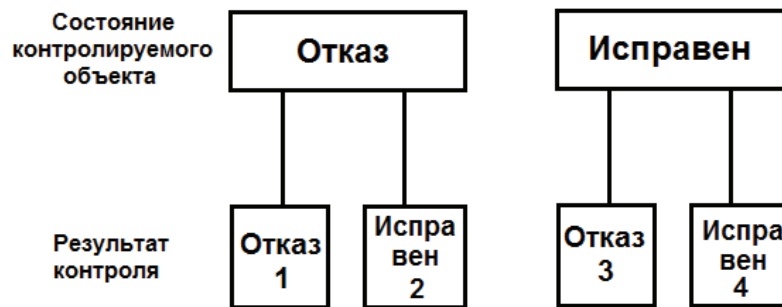


Рис. 1 - К понятию ошибок 1-го и 2-го рода

Пояснения к рисунку 1:

- 1, 4 – достоверный результат;
- 2 – ошибка 2-го рода;
- 3 – ошибка 1-го рода.

Ошибки контроля 1-го рода приводят к увеличению объема восстановительных работ. Ошибки контроля 2-го рода вызывают потери – прямые финансовые, косвенные финансовые, репутационные и т.д.

Для оценки качества контроля наиболее часто используются вероятности ошибок первого и второго рода. Однако, например, в задачах машинного обучения критериями достоверности и качества контроля выступают такие характеристики, как полнота (recall,  $P$ ) и точность (precision,  $T$ ). Полнота показывает, какая доля объектов положительного класса из всех объектов этого класса найдена, а точность можно интерпретировать как долю объектов, классифицированных как положительные, и при этом действительно являющихся положительными [11].

К положительному классу отнесем состояние отказа, к отрицательному – отказа нет.

Таким образом, полнота – это вероятность того, что система мониторинга зафиксировала отказ, при условии, что отказ действительно есть. А точность – вероятность того, что отказ есть при условии, что он зафиксирован. Другими словами, полнота отражает долю обнаруженных реальных отказов, а точность – сколько всего отказов было верно зафиксировано.

Ошибка второго рода выражается через полноту как  $P_{\text{но}} = 1 - P$ . При этом исходим из того, что вероятности ошибок первого и второго рода определяются, исходя из нулевой гипотезы – элемент сети находится в нормальном состоянии, отказа нет. В этом случае нет особой разницы в том, какую из величин определять: ошибку контроля 2-го рода или полноту. Ситуация с ошибкой первого рода обстоит иначе. Поскольку отказов в сети значительно меньше, чем их отсутствия, то вероятность ошибки первого рода может оказаться незначительной величиной, которую трудно использовать для оценки качества работы системы мониторинга. Поэтому могут быть использованы полнота и точность как критерии качества. [9]

Другим показателем оценки качества является ROC-кривая (Receiver Operator

Characteristic) — кривая, которая наиболее часто используется для представления результатов бинарной классификации в машинном обучении. Эта кривая показывает зависимость количества верно классифицированных положительных объектов от количества неверно классифицированных отрицательных объектов. При анализе используют относительные показатели – доли в %:

- доля истинно положительных примеров (отказ действительно есть):

$$\text{ДИП} = \frac{\text{ИП}}{\text{ИП} + \text{ЛО}} \cdot 100\%, \text{ где ИП – истинно положительные примеры; ЛО – ложно отрицательные примеры (отказ не зафиксирован, но он действительно есть);}$$

- доля ложно положительных примеров (отказ обнаружен, а его действительно нет):

$$\text{ДЛП} = \frac{\text{ЛП}}{\text{ЛП} + \text{ИО}} \cdot 100\%, \text{ где ЛП – ложно положительные примеры, ИО – истинно отрицательные примеры (отказа действительно нет).}$$

Для построения ROC-кривой определяют чувствительность (Ч) и специфичность (СПФ).

Чувствительность – это ДИП, а специфичность –  $\text{СПФ} = \frac{\text{ИО}}{\text{ИО} + \text{ЛП}} \cdot 100\% = 100 - \text{ДЛП}$ .

Под чувствительностью можно понимать способность устройства распознать полезный сигнал (есть отказ), под специфичностью – способность отсеять бесполезный сигнал (не фиксировать реальное отсутствие отказа). Эти два показателя определяют объективную ценность любого бинарного классификатора.

Для получения графика по оси ординат откладываются значения Ч, а по оси абсцисс –  $\text{ДЛП} = 100 - \text{СПФ}$ . При этом задается порог отсечения, который меняется в диапазоне от 0 до 1 с фиксированным заданным шагом [10, 11]. Порог отсечения определяется на основании критерия, связанного с определяющими параметрами, на основании которых делаем вывод о наличии или отсутствии отказа. Пример ROC-кривой приведен на рисунке 2.

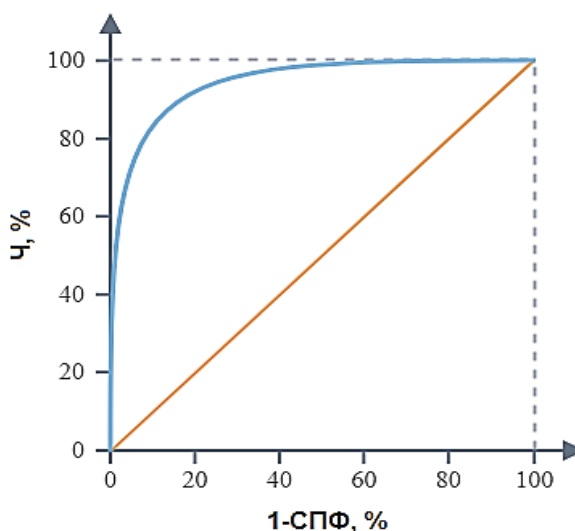


Рис.2 - ROC-кривая [10]

Чем ближе кривая к верхнему левому углу - точке (0; 100) на рисунке 2, тем выше предсказательная способность системы контроля. Чем ближе кривая расположена к диагональной прямой, тем менее эффективна система контроля. Диагональная линия соответствует состоянию системы контроля, при котором она не способна различить состояния нормы и отказа [10, 11].

### 3. Некоторые соотношения, характеризующие качество работы устройств мониторинга

Рассмотрим систему контроля за состоянием сети доступа. Перед системой контроля



стоит задача по обнаружению (фиксации) отказов, вероятность появления которых известна и равна  $P_0$ . При этом возможны ошибки контроля первого и второго рода. Ошибки 1-го рода – это фиксация отказа в ситуации, когда его не было. Вероятность этого события обозначим как  $P_{ЛО}$ . Ошибки 2-го рода – это пропуск отказа в ситуации, когда он был. Вероятность этого события обозначим как  $P_{НО}$ . Очевидно, что

$$P_{ЛО} + P_{НО} + P_{ПО} + P_{\overline{ОО}} = 1, \quad (1)$$

где  $P_{ПО}$  – вероятность фиксации сигнала об отказе при его наличии;

$P_{\overline{ОО}}$  – вероятность отсутствия сигнала об отказе при его фактическом отсутствии.

Достоверность контроля определяется из формулы (2)

$$D = 1 - (P_{ЛО} + P_{НО}). \quad (2)$$

Контроль будет достоверным ( $D = 1$ ), если

$$P_{ЛО} + P_{НО} = 0. \quad (3)$$

Очевидно, что выполнение условия (3) возможно только при  $P_{ЛО} = P_{НО} = 0$  или для

$$P_{ПО} + P_{\overline{ОО}} = 1. \quad (4)$$

В выражении (1)

$$P_{ПО} < P_0, \quad P_{\overline{ОО}} < (1 - P_0), \quad P_{ЛО} < (1 - P_0), \quad P_{НО} < P_0.$$

Итак, недостоверность контроля определяется ошибками первого и второго рода, т.е.

$$\overline{D} = P_{ЛО} + P_{НО}, \quad (5)$$

или

$$\overline{D} = P_{ЛО} + (P_0 - P_{ПО}) = P_{ЛО} - P_{ПО} + P_0.$$

При  $P_{ЛО} = P_{ПО}$  недостоверность контроля  $\overline{D} = P_0$ . Если предположить, что  $P_{ПО} > P_{ЛО}$ , то  $\overline{D} < P_0$ , что невозможно. Таким образом,  $P_{ЛО} > P_{ПО}$  и  $\overline{D} > P_0$ , т.е. сумма вероятностей ошибок контроля всегда больше  $P_0$ . Это значит, что в лучшем случае мы фиксируем каждый отказ. Следовательно,  $P_{ПО} = P_0$ . Однако есть ещё ошибки 1-го рода. Это добавка, в результате которой имеем

$$\overline{D} = P_{ЛО} + P_{НО} > P_0.$$

В результате осуществления контроля снизить число отказов невозможно, оно может только увеличиться, что приведёт к снижению коэффициента готовности ( $K_T$ ).

Оценка состояния контролируемого элемента (отказ, норма, предотказ) осуществляется с целью перехода к следующему шагу. Это может быть ремонт элемента сети, переключение на

резерв и т.д. Но это уже совсем другая история, как говорит ведущий программы «Следствие вели» Л. Каневский.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронков А.А., Шафигуллин Л.Н.* Внедрение технологии прогнозирующего контроля при техническом обслуживании волоконно-оптических линий передач // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. N 4. С. 1072–1074.
2. *Алюшина С.Г.* Развитие систем мониторинга пассивных оптических сетей с модернизацией подсетей распределения // Научное обозрение. Технические науки. 2015. N 1. С. 47-48.
3. *Алексеев А.Е.* Диагностика надежности автоматизированных систем: Учебное пособие. - Архангельск: Изд-во ГОУ АГТУ, 2004. 75 с.
4. Huawei eSight GPON Fault Monitoring Technical White Paper [Электронный ресурс] // HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. URL: <https://pdfslide.net/documents/huawei-esight-gpon-fault-monitoring-technical-white-paper.html> (дата обращения: 24.04.2020).
5. *Mahloo M.* Reliability versus cost in next generation optical access networks. Doctoral Dissertation. School of Information, Communication Technology, k.t.n. Royal Institute of Technology, 2013.
6. *Aswir Premadi, Mohammad Syuhaimi Ab. Rahman, Mohamad Najib Moh. Saupe, and Kasmiran Jumari,* Access control system: monitoring tool for fiber to the home passive optical network // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2009. Vol. 3. N 2. P. 142-147.
7. *Esmail M.A., Fathallah H.* Fiber fault management and protection solution for ring-and-spur WDM/TDM Long-Reach PON // Proceedings of the Global Communications Conference - GLOBECOM 2011, 5-9 December 2011, Houston, Texas, USA.
8. *Esmail M.A., Fathallah H.* Physical layer monitoring techniques for TDM-passive optical networks: a survey. // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013. Vol. 5. no. 2. P. 943-958.
9. Почему DataScientist-ы не используют ошибки первого и второго рода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/340048/> (дата обращения: 24.04.2020).
10. Логистическая регрессия и ROC-анализ — математический аппарат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://loginom.ru/blog/logistic-regression-roc-auc> (дата обращения: 24.04.2020).
11. Метрики в задачах машинного обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/328372/> (дата обращения: 24.04.2020).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕЙ СВЯЗИ

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

Ключевые слова: ЛВС, моделирование, проектирование сетей связи.

Проектирование сетей связи выполняемый только математическим методом не всегда достоверно отображает как будет работать построенная сеть, в связи с чем все чаще возникает потребность в симуляции спроектированной сети.

A.S. Nifontova, V.S. Kutenin

## MODELING COMMUNICATIONS NETWORKS

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: LAN, modeling, design of communication networks.

The design of communication networks performed only by the mathematical method does not always reliably reflect how the constructed network will work, and therefore more and more often there is a need to simulate the designed network.

На сегодняшний день, сети достигают больших масштабов, которые поддерживают интеграцию различных услуг, таких как: передача данных, голосовые сообщения и видео. Исходя из этого, в сети необходимо использовать несколько видов оборудования, которое будет друг с другом корректно работать, а также важно правильно провести все математические расчеты при проектировании, и, чтобы удостовериться, что сеть будет работать так, как было изначально задумано, применяется симуляция сетей. Симуляция – использование созданной модели, спроектированной наподобие реальной, в целях выявления максимальной производительности и прочих характеристик сети.

В настоящее время очень важно, чтобы сеть была надежной и эффективной в построении. Критериями оценки эффективности могут служить: снижение стоимости реализации информационной системы, соответствие текущим требованиям, а также возможность и стоимость дальнейшего развития. Чтобы быть уверенным, что сеть будет выполнять все требования, которые были изначально поставлены, она моделируется в виртуальной среде с помощью специального программного обеспечения, а затем подвергается различным тестовым нагрузкам, чтобы выявить слабые места или удостовериться в том, что сеть будет полностью пригодна.

Также при проектировании, в последнее время, часто используют экспертные оценки. В соответствии с этим подходом специалисты в области вычислительных средств, активного сетевого оборудования и кабельных сетей на основании имеющегося у них опыта и экспертных оценок осуществляют проектирование вычислительной системы, обеспечивающей решение конкретной задачи или класса задач. Однако, решения носят субъективный характер, что влияет на гарантию работоспособности сети.

На данный момент, моделирование и симуляция уже нашли свое применение при создании какой-либо масштабной сети, например, локальной мультисервисной сети. Благодаря проведению исследований и тестов с различным оборудованием, можно для себя подобрать наиболее подходящее, при этом не нужно будет переплачивать за более дорогие модели. Также, не нужно строить сеть с реальным оборудованием, чтобы понять, подходит спроектированная сеть для заданного проекта или нет.

К преимуществам симуляции сети можно отнести:

- простоту построения и корректировку сети. Теперь не нужно строить сети с реальным оборудованием, чтобы провести тесты с целью выявления максимальной возможной нагрузки, а также можно без каких-либо усилий скорректировать сеть в том месте, где найдены проблемные места, которые могут повлиять на всю сеть в целом.

- простоту понимания. Благодаря различным программным обеспечениям, можно разобраться в том, как сеть работает изнутри, при этом, не используя никакого постороннего оборудования, кроме рабочей машины.

- экономия при построении сети. Не нужно заранее покупать какое-либо оборудование, чтобы начать строить сеть, все это можно сделать в виртуальной среде, и как упоминалось ранее, выбрать именно то, которое будет наиболее подходящим.

Несмотря на то, что у симуляции сетей есть большие преимущества над построением реальных сетей, также имеются и недостатки, такие как:

- необходимы мощные рабочие машины, чтобы спроектировать сеть и провести ее тестирование. Любое программное обеспечение, которое нацелено на моделирование и симуляцию сетей, требует высокие системные требования, и чтобы программа не сдала сбой или зависала, необходимо, чтобы рабочая машина удовлетворяла данным системным требованиям.

- чтобы правильно спроектировать и протестировать сеть, нужны хотя бы минимальные знания того, как сеть должна строиться. Сеть не будет корректно работать, либо вообще не будет работать, если не соблюдать правила построения сети.

- если сеть является масштабной и требуется большой функционал от программного обеспечения, придется произвести затраты на покупку системы моделирования, так как бесплатное программное обеспечение не может дать всех тех функций, что есть в платных программах.

На сегодняшний день существует множество программ для моделирования и симуляции сетей, например:

- Cisco packet tracer;
- GNS3;
- Boson NetSim;
- eNSP.

Большинство из них является бесплатным продуктом, благодаря чему, любой желающий может смоделировать и провести симуляцию своей сети. Если нужно построить небольшую сеть с ограниченным функционалом, то можно остановиться на программном обеспечении от Cisco или Huawei. Если же необходимо смоделировать масштабную сеть и подробно рассмотреть ее работу, то стоит обратить внимание на программу GNS3.

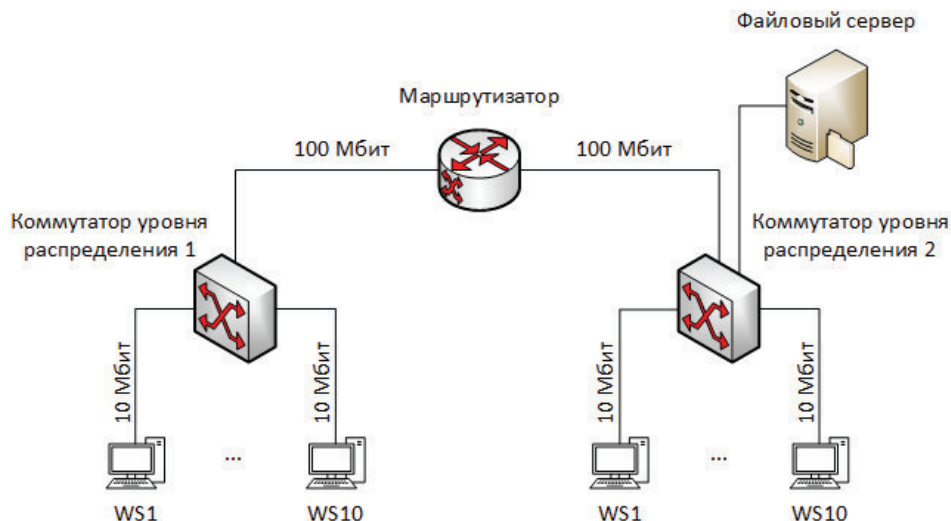
Также важно отметить, что в программном обеспечении можно симулировать любое оборудование, кроме коммутаторов. Это связано с тем, что в них используется микроконтроллер Asic, который рабочая машина не может идентично воспроизвести, как, например, микросхему маршрутизатора.

Рассмотрим пример, когда моделирование может показать, что теоретических расчетов может быть недостаточно для проектирования сети.

На рисунке 1 показана схема сети, где файловый сервер подключен к коммутатору уровня распределения.

Каждой рабочей машине выделено по 10 Мбит, чего вполне достаточно в локальной сети. Учитывая, что к коммутатору подключено 10 рабочих машин, которым нужно 10 Мбит, то 100 Мбит достаточно между коммутатором и маршрутизатором. При загрузке/выгрузке файлов с файлового сервера, можно предположить, что коммутатор 1 будет максимально нагружен, и пропускная способность остальных рабочих машин станет минимальной. Но при расчетах не очевидно, что коммутатор 2 также будет нагружен, если сервер подключен именно к нему. Это приведет к тому, что у рабочих машин, подключенных к данному коммутатору, также упадет пропускная способность до минимума. Это связано с тем, что для подключения к серверу используется протокол SMB/CIFS, поэтому вся пропускная способность используется для передачи файлов с сервера или на сервер.

Таким образом, при проектировании сети не стоит полагаться только на математические расчеты, так как они не всегда могут показать достоверные результаты. Моделирование же может гарантировать полноту и правильность выполнения информационной системы функций, которые были изначально определены.



По сравнению с экспертными оценками, моделирование позволяет произвести более точный расчет необходимой производительности отдельных компонентов и всей системы в целом. Также неоспоримым достоинством моделирования является то, что имеется возможности проведения разнообразных экспериментов, не прибегая к физической реализации, что позволяет предотвратить большое число неожиданных ситуаций в процессе эксплуатации.

Резюмируя, можно сказать, что при проектировании сети, стоит пользоваться несколькими методами, так как одного будет недостаточно для гарантии полноты и правильности функционирования системы. Моделирование является оптимальным решением для проектирования, так как с помощью него, можно убедиться, что расчеты были проведены верно и сеть будет работать с большей эффективностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CoderLessons [Электронный учебник]// Моделирование и симуляция – краткое руководство. 2018. – Режим доступа: <https://coderlessons.com/tutorials/akademicheskii/modelirovanie-i-simulatsiia/modelirovanie-i-simulatsiia-kratkoe-rukovodstvo>
2. Гудов А.М., Семехина М.В. «Имитационное моделирование процессов передачи трафика в вычислительных сетях» (Управление большими системами, выпуск 31)
3. Cisco.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.cisco.com/c/ru\\_ua/training-events/netacad/training-courses/cisco-packet-tracer.html](https://www.cisco.com/c/ru_ua/training-events/netacad/training-courses/cisco-packet-tracer.html)
4. Habr.com [Электронный ресурс]// Основы GNS3. Обзор. 2015. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/266503/>
5. Boson NetSim Technology, руководство пользователя, 2013, 65с.
6. Huawei Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://huawei-russia.ru/stati/upravlenie-setju/instrumenty-upravlenija/ensp/>

## **РАСЧЕТ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ X-ОТВЕТВИТЕЛЯ В РЕЖИМЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ТОКОВОЙ ПЕТЛИ**

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

Ключевые слова: солитоны, X-ответвитель, нелинейное петлевое волоконное зеркало, дисперсия.

Рассматривается нелинейное устройство для сверхбыстрой обработки информации. Это устройство основано на распространении в нелинейной среде в волноводной петле, образованной соединением выходных портов обычного ответвителя.

Приведено определение передаточной функции устройства через входную мощность токовой петли. Такая нелинейная токовая петля способна работать с импульсами, когда учитываются солитонные эффекты.

**E.S. Rudometova, V.T. Kuanyshev**

## **METHODS OF POSITIONING RADIO ELECTRONIC MEDIA COMMUNICATIONS OF THE DMR STANDARD (DIGITAL MOBILE RADIO) INSIDE THE PRODUCTION AREAS OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE**

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: solitons, X-coupler, nonlinear loop fiber mirror, dispersion.

A nonlinear device for ultrafast information processing is considered. This device is based on propagation in a nonlinear medium in a waveguide loop formed by connecting the output ports of a conventional coupler.

The definition of the transfer function of the device through the input power of the current loop is given. Such a nonlinear current loop is able to work with pulses when soliton effects are taken into account.

Свет высокой интенсивности, создаваемый лазерными системами в волоконно-оптических линиях связи, может вызывать увеличение локального показателя преломления среды, что может привести к образованию этим светом волновода в однородной среде. Образовавшийся таким образом пространственный солитон может служить волноводом для более слабого пучка. Взаимодействующие в этом процессе солитоны приводят к образованию сложной перекрещивающейся волноводной структуры. В этом случае свет низкой интенсивности, распространяющийся вдоль такого волновода, вследствие отражения и рассеяния должен ослабляться. При этом оказалось, что параметры такого волновода могут оказаться близки к безизлучательному случаю [1, с.34], то есть такой случай соответствует волноводу с профилем показателя преломления, описываемым гиперболической функцией «sech».

Этот подход реализовался в таких практических приложениях, как создание X-ответвителей [2, с.186] или более сложных устройств с  $N \times N$  входами и выходами. Кроме отсутствия потерь можно вычислить точные передаточные характеристики таких устройств.

Оптические X-ответвители - это устройства, которые обычно имеют два волноводных канала со слабой связью между ними, так что они могут обмениваться сигналами на некотором расстоянии. Доля обмененной энергии зависит от коэффициента связи, длины, частоты и других параметров, которые могут служить в качестве внешнего управления. В общих терминах ответвитель - это четырехпортовое устройство с двумя входами и двумя выходами,



расположенными так, что выходные сигналы зависят от параметров входных сигналов, например, длины волны, и некоторых внутренних параметров управления, например, от коэффициента связи. Практический интерес представляют ответвители, основанные на теории взаимодействия нелинейных пучков в однородных нелинейных средах [2, с. 188].

С конструктивной точки зрения четырёхпортовый сплавной волоконный ответвитель (рис.1, а) представляет собой линейный пассивный оптический элемент, выполняющий унитарное преобразование амплитуд сигнала

$$\begin{pmatrix} A'_1 \\ A'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & i \sin \alpha \\ i \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 \cos \alpha + A_2 i \sin \alpha \\ A_1 i \sin \alpha + A_2 \cos \alpha \end{pmatrix}$$

где  $\alpha$  – параметр ответвителя. При соединении портов 1' и 2' ответвителя отрезком оптического волокна длины  $L$  (рис. 1, б) получается нелинейное петлевое волоконное зеркало (Nonlinear optical loop mirror). Такое устройство обладает полезными характеристиками для слабовзаимодействующих входных и выходных сигналов и способно работать с солитонными импульсами.

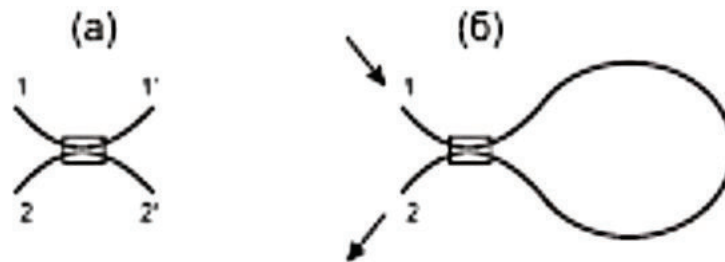


Рис. 1 - (а) Четырёхпортовый сплавной волоконный ответвитель; (б) нелинейное петлевое волоконное зеркало

В петлевом зеркале один вход делится на два встречных поля, которые возвращаются и встречаются в соединителе (прямоугольник на рис. 1,б). Длина оптического пути точно такая же для обоих распространяющихся полей, так как они следуют по одному и тому же пути, но в противоположных направлениях, что является особенностью такого устройства.

Рассматриваемое устройство реагирует на различия в фазах между двумя перекрывающимися полями и, таким образом, чувствителен, но нет необходимости в интерферометрических оптических путях.

Простейшая реализация нелинейного устройства на основе конфигурации рис. 2. Сдвиг фазы порождается электрическим полем  $E$ , модуль которого  $|E| \sim \text{Re}(Ae^{i\omega_0 t})$ , где  $\omega_0$  - несущая оптическая частота; при этом нормировка выбирается таким образом, чтобы  $|A|^2$  был равен мощности излучения. Поэтому дальше мы будем оперировать с величинами модулей электрических полей. Распространяющаяся на расстояние  $L$  волна получает набег фазы (фазовый сдвиг) под влиянием фазовой самомодуляции, который определяется как [3, с.56]

$$\varphi = \frac{2\pi n_2 |E|^2 L}{\lambda} = \frac{2\pi n_2 |A|^2 L}{\lambda} \quad (1)$$

где  $n_2$  - нелинейный коэффициент преломления (керровский коэффициент). Поскольку

$$E_3 = \text{Re}(A'_1 e^{i\omega_0 t}) \text{ и } E_4 = \text{Re}(A'_2 e^{i\omega_0 t})$$

то можно записать соответствующие уравнения, соединяющие входные и выходные волны поля, показанные на рис. 1 для X-ответвителя

$$E_3 = \alpha^{1/2} E_1 + i(1 - \alpha)^{1/2} E_2, \quad (2a)$$

$$E_4 = i(1 - \alpha)^{1/2} E_1 + \alpha^{1/2} E_2. \quad (2b)$$

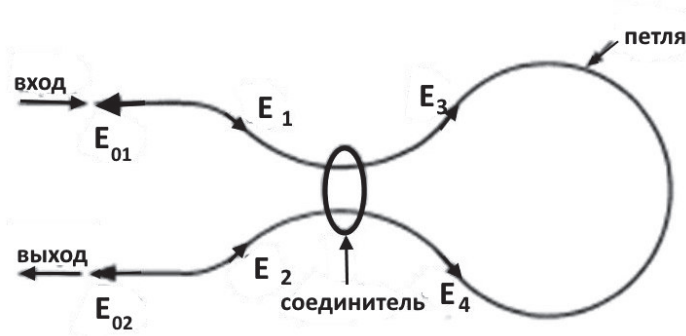


Рис. 2 - Конфигурация петлевого зеркала

Рассмотрим случай с одним входом на порт 1,  $E_{IN}$ , то есть после замыкания выходов петель длиной  $L$ . В этом случае поля  $E_3$  и  $E_4$  будут определяться в соответствии [3, с.57]

$$E_3 = \alpha^{1/2} E_{IN} \exp(i\alpha |E_{IN}|^2 2\pi n_2 L / \lambda),$$

$$E_4 = i(1 - \alpha)^{1/2} E_{IN} \exp[i(1 - \alpha) |E_{IN}|^2 2\pi n_2 L / \lambda].$$

Для расчета выходов  $E_{01}$  и  $E_{02}$ , полученных в результате действия полей в петлевом зеркале, возьмем преобразования (комплексное сопряжение)  $E_3 = E_4^*$  и  $E_4 = E_3^*$  и, обращая уравнения (2), находим выражение для поля волны на выходе через порт 2:

$$|E_{02}|^2 = |E_{IN}|^2 \left( 1 - 2\alpha(1 - \alpha) \left\{ 1 + \cos \left[ \frac{(1 - 2\alpha) |E_{IN}|^2 2\pi n_2 L}{\lambda} \right] \right\} \right) \quad (3)$$

Это уравнение показывает, что можно определить из решения этой задачи на экстремум, что для любого значения  $\alpha \neq 1/2$ , 100% мощности сигнала, связанного с полем  $E$ , будет излучаться через порт 2 тогда, когда

$$\frac{|E|^2 2\pi n_2 L}{\lambda} = m \frac{\pi}{1 - 2\alpha} \quad (4)$$

для нечетных  $m$ , и в этом случае  $|E_{02}|^2 = |E_{IN}|^2$ . Минимальная мощность получается при четных  $m$  и определяется линейной выходной мощностью, т.е.

$$|E_{02}|^2 = |E_{IN}|^2 [1 - 4\alpha(1 - \alpha)] \quad (5)$$

Выход переключается с низкого значения мощности на 100% каждый раз, когда мощность увеличивается на  $\lambda / [2(1 - 2\alpha)n_2 L]$ .

Перепишем коэффициент передачи в зависимости от мгновенной мощности, связанной со значением поля  $|E_{IN}|^2$  на входе в виде:

$$\frac{|E_{02}|^2}{|E_{IN}|^2} = 1 - 2\alpha(1 - \alpha) \left\{ 1 + \cos \left[ \frac{(1 - 2\alpha) 2\pi n_2}{\lambda} \times |E_{IN}|^2 \times L \right] \right\}$$

Оптимальный коэффициент переключения соответствует величине  $\alpha$ , близкой к 0,5, но энергия переключения возрастает соответственно. На рис. 3 показана передаточная функция для порта 2 как функция входной мощности

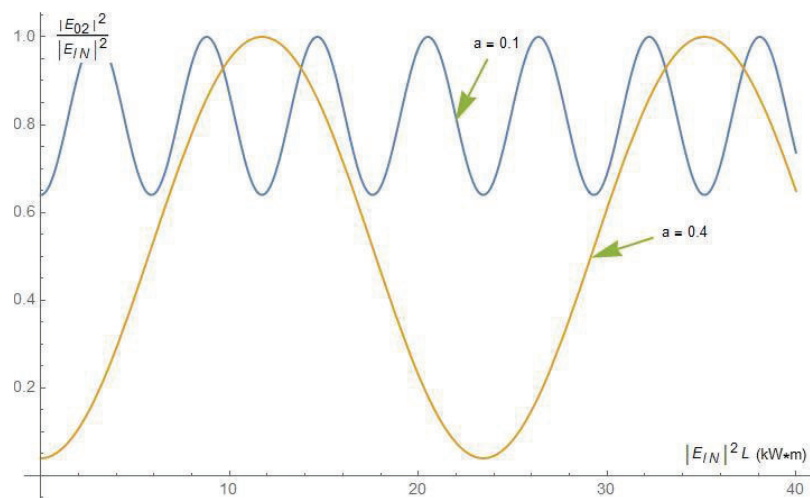


Рис. 3 - Передаточная функция  $|E_{02}|^2 / |E_{IN}|^2$ , выраженная через входную мощность (киловатт-метры)

для двух значений  $\alpha$ . Мощность рассчитывается по формуле (3) с  $n_2 = 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2 / \text{Вт}$  и  $\lambda = 1.55 \text{ мкм}$  (входная мощность приведена в киловаттах метров).

Приведенные расчеты рассмотрены для случая, когда задается одно значение интенсивности поля на входе, чтобы можно было рассчитать выходное поле через порт 2. Если входные импульсы не прямоугольные, характеристика передачи будет ухудшаться из-за изменяющейся интенсивности импульса, поэтому целесообразно использовать распространение солитона в петле. В этом случае солитон (как точное решение уравнения Кортевега-де Вриза), выраженный через функцию гиперболического косинуса, не изменяет форму при распространении через волокно, но приобретает фазовый сдвиг, пропорциональный пройденному расстоянию. Но если импульс не является точным солитоном, эффекты дисперсии могут быть приблизительно уравновешены нелинейностью, и поэтому импульс с амплитудой и формой, близкими к соответствующим параметрам точного солитона, не будут существенно меняться при распространении.

Из приведенных численных решений задачи распространения видно, что импульсы в солитонном режиме получают набег фазы, пропорциональный расстоянию (1). Поэтому можно предположить [3, с.59], что если амплитуда импульса рассматриваемого устройства достаточна для создания этих солитонных эффектов, тогда такое переключение должно быть возможным для всего импульса. Это обстоятельство также может служить доводом для использования солитонов в нелинейно-волоконных устройствах для обработки информации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахмедиев Н. Н., Анкевич А.* Солитоны. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 304 с.
2. *N. N. Akhmediev and A. Ankiewicz*, "Spatial Soliton X-Junctions and Couplers," *Optics Communications*, Vol. 100, No. 1-4, 1993. - pp. 186-192.
3. *Doran, N. J., & Wood, D.* (1988). Nonlinear-optical loop mirror. *Optics Letters*, 13(1). – pp.56-

## ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ RIVERBED

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, Россия

Ключевые слова: сеть связи, имитационное моделирование, программное обеспечение, Riverbed, сетевой протокол.

Приведено краткое описание возможностей программного обеспечения Riverbed. Указано, что в сочетании с достаточно качественным и глубоким описанием богатых его возможностей, оно является очень ценным подспорьем для тех специалистов и исследователей, которые работают над проектами, требующими создания имитационных моделей.

K. A. Batenkov, V. Yu. Golovacyov, S. V. Chistyakov

## OPPORTUNITIES FOR MODELING TELECOMMUNICATIONS NETWORKS USING RIVERBED SOFTWARE

The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation, Oryol, Russia

Keywords: communication network, simulation, software, Riverbed, network protocol.

A brief description of the features of the Riverbed software is provided. It is indicated that in combination with a sufficiently high-quality and in-depth description of its rich capabilities, it is a very valuable tool for those specialists and researchers who work on projects that require the creation of simulation models.

Знание того, как моделировать и моделировать производительность различных систем является важным инструментом для любого специалиста в области ИТ (информационных технологий). Сегодня инвестиции в дорогостоящее оборудование, трудно оправдать без общей оценки его работы с помощью имитационных моделей. Однако создание имитационной модели является не тривиальной задачей [1, 2]. Это требует глубокого понимания концепции моделирования, обширных знаний о свойствах моделируемой системы, и серьезной математической подготовки [3, 4].

Riverbed Technologies Inc. (<http://www.riverbed.com>) является ведущей компанией, которая разрабатывает и продает программное обеспечение для моделирования и анализа компьютерных сетей. IT Guru и Modeler являются наиболее популярными продуктами для моделирования телекоммуникационных сетей, предлагаемых Riverbed. Они широко используются в сфере образования для изучения основных и расширенных вопросов в областях передачи данных и компьютерных сетей, а также в промышленности и правительства при моделировании, изучении, анализа и прогнозирования производительности различных сетевых систем. Точность результатов, богатая функциональность и простота использования являются основными причинами, почему эти программные пакеты привлекают так много пользователей из различных областей и дисциплин [5, 6].

В технологически ориентированном сегодняшнем мире, почти каждая компания эксплуатирует собственную сетевую инфраструктуру в дополнение к глобальной сети Интернет. Таким образом, спрос на специалистов, способных оценить производительность сети, а также выявить и устранить связанные с этим проблемы, значительно вырос за последние несколько лет. Программное обеспечение Riverbed является отличным инструментом для моделирования реальных сетей, оценки их эффективности, а также выявления потенциальных проблем до их возникновения. Вот почему продукты Riverbed, такие как IT Guru и Modeler, в частности, нашли широкое применение в промышленности.

Преподаватели сетевых курсов в университетах постоянно ищут различные новые активные средства обучения для привлечения студентов к обсуждению в классе, предоставления студентам возможности экспериментального обучения с целью большей вовлеченности в предметную область. Программное обеспечение Riverbed является отличным активным инструментом изучения, что может помочь педагогам достичь всех подобных целей [5, 7]. В частности, программное обеспечение Riverbed позволяет изучить и оценить различные сетевые системы с простой или сложной топологией, оно иллюстрирует различные сетевые концепции, и наглядно показывает вариативность производительности сети в различных условиях. В этой связи не удивительно, что сотни университетов по всему миру в настоящее время используют данное программное обеспечение при моделировании в рамках педагогической и научной деятельности.

Наиболее подробное описание программного обеспечения IT Guru и Modeler с позиции моделирования компьютерных сетей приводится в книге [8]. Она также включает в себя набор лабораторных работ, которые помогают понять различные аспекты применения программного обеспечения. Целевая аудитория для этой книги включает в себя ИТ-специалистов и исследователей, которые работают в области компьютерных коммуникаций и сетей, а также студентов и аспирантов, проводящих исследования в данной области.

В целом можно утверждать, что программное обеспечение Riverbed в сочетании с достаточно качественным и глубоким описанием богатых его возможностей, – очень ценное подспорье для тех специалистов и исследователей, которые работают над проектами, требующими создания имитационных моделей [5, 6, 8]. Кроме того, использование методических материалов позволяет изучать функционал современных телекоммуникационных сетей в соответствии с логическим порядком, близким к структуре эталонной модели взаимодействия открытых систем и наиболее известным стекам протоколов. В дополнении к этому достаточно большой набор лабораторных работ, имеющих схожую организацию и включающих различные аспекты организации сетевых структур, позволяет более детально уяснить основные особенности их функционирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Батенков К. А.* Анализ статистики голосового трафика сети Ethernet с помощью программы Wireshark / Батенков К. А., Королев А.В., Миронов А.Е., Орешин А.Н. // Телекоммуникации. – 2018. – № 10. – С. 39–48.
2. *Батенков К. А.* Числовые характеристики структур сетей связи // Труды СПИИРАН. – 2017. – № 4 (53). – С. 5–28.
3. *Батенков К. А.* Точные и граничные оценки вероятностей связности сетей связи на основе метода полного перебора типовых состояний // Труды СПИИРАН. 2019. Т. 18. № 5. С. 1093–1118.
4. *Батенков К. А., Батенков А. А.* Анализ и синтез структур сетей связи по детерминированным показателям устойчивости // Труды СПИИРАН. 2018. № 3 (58). С. 128–159.
5. *Батенков К. А.* Оценка параметров алгоритмов диспетчеризации на основе имитационного моделирования в программной среде Riverbed / Батенков К. А., Королев А.В., Миронов А.Е., Орешин А.Н. // Телекоммуникации. – 2018. – № 8. – С. 17–23.
6. *Чечик В.В.* Имитационное моделирование трафика HTTP с помощью программной среды Riverbed / Чечик В.В., Батенков К.А. // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2016. – Т. 1. – № 9. – С. 273–277.
7. *Батенков К. А.* Анализ и синтез структур сетей связи по детерминированным показателям устойчивости // Труды СПИИРАН. – 2018. – № 3 (58). – С. 128–159.
8. *Sethi A. S.* The Practical OPNET User Guide for Computer Network Simulation / Adarshpal S. Sethi, Vasil Y. Hnatyshin // CRC Press Taylor & Francis Group, 2013. – 480 p.



## ИССЛЕДОВАНИЕ МНОЖЕСТВ ПОДГРАФОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ РАЗЛИЧНОЙ СВЯЗНОСТИ

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, Россия

Ключевые слова: сеть связи, граф, структура, вероятность связности, двухполюсная связность, многополюсная связность, всеполюсная связность.

Модель телекоммуникационной сети представлена в виде обобщенной модели Эрдеша–Реньи. В контексте устойчивости телекоммуникационной сети под анализируемым свойством понимается связность сети в той или иной форме. Показано, что многополюсные деревья являются наиболее общим понятием относительно простых цепей и остовых деревьев.

К. А. Batenkov

## SUBGRAPH SET RESEARCH OF TELECOMMUNICATION NETWORK OF DIFFERENT CONNECTIVITY

The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation, Oryol, Russia

Keywords: network, graph structure, the probability of connectivity, connectivity is a double-pole, multipole connectivity, sefolosha connectivity.

Model of a telecommunication network is presented in the form of the generalized model of Erdos–Renyi. In the context of the stability of a telecommunications network, the analyzed property refers to the connectivity of the network in one form or another. It is shown that multipolar trees are the most General concept of relatively simple chains and spanning trees.

В настоящее время оценка устойчивости (надежности, живучести) немыслима без использования теории графов [1]. При подобном анализе практически невозможно рассмотреть сложную или большую систему во всей ее полноте и богатстве.

Модель телекоммуникационной сети целесообразно представить в виде обобщенной модели Эрдеша–Реньи [2]. В ней рассматривается случайный граф  $G$ , в котором жестко задано множество вершин  $V = \{1, \dots, v\}$  с мощностью  $v$ .

В контексте устойчивости телекоммуникационной сети под рассматриваемым свойством обычно понимают связность сети в той или иной форме, а следовательно, вероятность  $p(S)$  связности сети оценивается как сумма вероятностей  $p_G$  всех связных графов (на заданном множестве вершин), формирующих множество  $S$ . Отметим также, что аналогично ранее упомянутому вероятность связности сети может трактоваться в рамках терминов коэффициента готовности, коэффициента оперативной готовности [3] и других показателей, характеризующих работоспособность телекоммуникационной сети [4].

Основываясь на представлении о понятии стохастической связности сети как соответствии некоторого случайного графа свойства связности между заданным набором вершин, традиционно выделяют три меры связности: двухполюсная, многополюсная и всеполюсная [5, 6]. Отметим, что в зависимости от трактовки английских понятий иногда используют термины двухтерминальная,  $k$ -терминальная, и всетерминальная связности.

В качестве тестовой сети связи используется магистральная сеть Ростелеком, развернутая с целью формирования потоков в направлении "Европа – Азия", помеченный граф которой представлен на рисунке 1. Исходная топологическая структура данной сети приведена в [7].



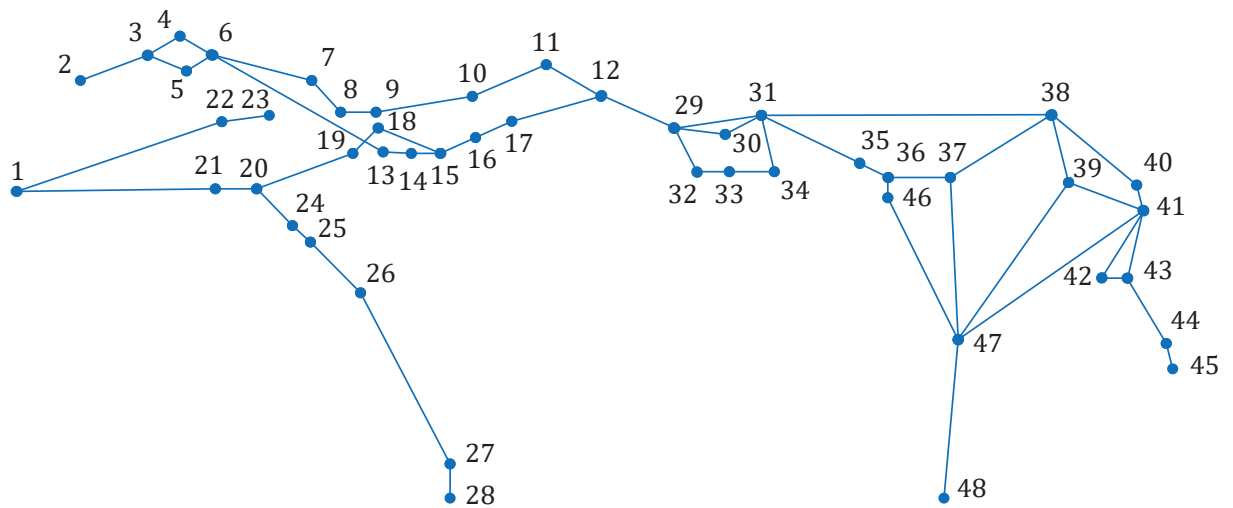


Рис. 1 - Граф – модель магистральной сети Ростелеком [7]

В таблице 1 приведены сводные данные по числу состояний графа и временным затратам на их формирование для различных мер связности. Отметим, что реализация вышеописанных процедур анализа выполнена в программной среде MathCad 15, а вычисления проводились на компьютере с процессором AMD Ryzen 5 3500U, оперативной памятью 16 ГБ и 64-разрядной операционной системой Windows 10.

Следует отметить, что многополюсные деревья являются наиболее общим понятием относительно простых цепей и остовых деревьев [8, 9, 10]. Первые из них представляют собой многополюсные деревья всего с двумя полюсами, а последние – случай, когда все вершины и есть полюсы. Не смотря на возможность подобного обобщения, в практических приложениях целесообразно рассматривать именно частные случаи простых цепей и остовов вследствие их меньшей вычислительной сложности [11]. Как следствие, можно предположить, что вполне логичным окажется и поиск более эффективных алгоритмов формирования множеств многополюсных деревьев с фиксированным числом полюсов, например, конкретно с тремя, четырьмя и т.д., либо с количеством полюсов, зависящим от общего количества вершин в графе, например, на единицу, двойку и т. д. меньше.

Таблица 1. Данные результатов формирования состояний магистральной сети Ростелеком [7] (рис. 1)

Мера связности	Номера вершин–полюсов	Число состояний (подграфов)	Время формирования, с
Двухполюсная	1, 28	1	0,056
	1, 45	216	0,092
	1, 48	72	0,063
	2, 23	4	0,188
	2, 28	4	0,189
	2, 45	432	0,266
	2, 48	144	0,201
	23, 28	1	0,057
	23, 45	216	0,095
	23, 48	72	0,067
	28, 45	216	0,099
	28, 48	72	0,068
Всеполюсная	45, 48	22	0,423
	1–28	48	0,170
	1–34	672	3,18
	1–38	3360	9,49
	1–41	13440	71,18
	29–48	22848	47,9

Многополюс- ная	1, 2, 28	4	0,011
	1, 2, 23	1	0,007
	1, 23, 28	1	0,004
	2, 23, 28	4	0,005
	1, 2, 23, 28	4	0,005
	29, 45,48	216	2,76
	37, 45,48	64	0,70
	29, 37, 45,48	414	4,72
	29, 37, 41, 45,48	414	4,82
	29, 33, 37, 41, 45,48	690	6,40

В целом же предложенные методы оказываются вычислительно более эффективными по сравнению с известными при различных исходных данных. Так, метод формирования состояний для двухполюсной связности наиболее предпочтителен в случае незначительно разветвленных сетей, для всеполюсной связности – наоборот, хорошо себя демонстрирует на сравнительно мощных графах, что в совокупности с методом для многополюсной связности, позволяет весьма эффективно решать задачи для малого числа полюсов.

В качестве основного направления дальнейших исследований целесообразно рассматривать анализ и обобщение существующих методов точной оценки вероятности связности, базирующихся на множествах состояний графов. Кроме того, весьма разумным продолжением данной работы можно считать исследование методов формирования состояний графов не как подграфов, описывающих состояния связности, а методов, образующих множества несвязных состояний, то есть сечений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shengjie Xu, Yi Qian, Rose Qingyang Hu.* Reliable and resilient access network design for advanced metering infrastructures in smart grid // IET Smart Grid, 2018. pp. 1–7.
2. *Xu S., Qian Y., Hu R.Q.* A data-driven preprocessing scheme on anomaly detection in big data applications. Proc. in 2017 IEEE Conf. on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs), Atlanta, GA, USA, May 2017.
3. *Ye F., Qian Y., Hu R.Q., et al.* Reliable energy-efficient uplink transmission for neighborhood area networks in smart grid, IEEE Trans. Smart Grid, 2015, 6, (5), pp. 2179–2188.
4. *Ye F., Qian Y., Hu R.Q.* Energy efficient self-sustaining wireless neighborhood area network design for smart grid, IEEE Trans. Smart Grid, 2015, 6, (1), pp. 220–229.
5. Chaturvedi S. K. Network Reliability Measures and Evaluation / Sanjay K. Chaturvedi. – Scrivener Publishing LLC. – 2016. – 237 p.
6. *Paredes R.* Network Reliability Estimation in Theory and Practice / R. Paredes, L. Duenas–Osorio, K. S. Meel, M. Y. Vardi // Preprint submitted to Reliability Engineering & System Safety. – 2018. – 26 p.
7. *Батенков К. А.* Точные и граничные оценки вероятностей связности сетей связи на основе метода полного перебора типовых состояний // Труды СПИИРАН. 2019. Т. 18. № 5. С. 1093–1118.
8. *Zuev K. M., Wu S. & Beck J. L.* Network reliability problem and its efficient solution by Subset Simulation // Probabilistic Engineering Mechanics 40. 2015. P. 25–35.
9. *Батенков К. А.* Числовые характеристики структур сетей связи // Труды СПИИРАН. 2017. № 4 (53). С. 5–28.
10. *Pino W., Gomes T., Kooij R.* A Comparison between Two All-Terminal Reliability Algorithms // Journal of Advances in Computer Networks, Vol. 3, No. 4, December 2015. pp. 284–290.
11. *Батенков К. А., Батенков А. А.* Анализ и синтез структур сетей связи по детерминированным показателям устойчивости // Труды СПИИРАН. 2018. № 3 (58). С. 128–159.

## ВЛИЯНИЕ ИЗГИБОВ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН НА БРИЛЛЮЭНОВСКИЕ РЕФЛЕКТОГРАММЫ

Омский государственный технический университет (ОмГТУ), г. Омск, Россия

Ключевые слова: одномодовое оптическое волокно, система мониторинга, бриллюэновский рефлектометр, изгиб, рефлектограмма.

В статье рассмотрены вопросы оценки влияния изгибов одномодовых оптических волокон различных видов на рефлектограммы, полученные с помощью бриллюэновского рефлектометра. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведен сравнительный анализ результатов измерений для одномодовых оптических волокон разных видов.

I. V. Bogachkov, A. I. Aleksandrova

## AN INFLUENCE OF BENDS OF OPTICAL FIBERS ON BRILLOUIN REFLECTOGRAMS

Omsk State Technical University (OmGTU), Omsk, Russia

Keywords: single-mode optical fiber, monitoring system, Brillouin reflectometer, bend, reflectogram.

The article deals with the assessment of the bend influence of single-mode optical fibers of various types on the Brillouin reflectograms. The results of theoretical and experimental studies are presented, and a comparative analysis of measurement results for different types of single-mode optical fibers is performed.

### Введение

Важной задачей мониторинга волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) является своевременное обнаружение и устранение участков в оптических волокнах (ОВ), которые имеют повышенное натяжение, изгибы, микроизгибы, либо имеют канал утечки информации (участки с несанкционированным доступом – НСД) [1 – 3].

Для обнаружения в ОВ участков с измененной температурой или с повышенным натяжением используются бреллюэновские оптические импульсные рефлектометры (БОИР), принцип работы которых основан на анализе характеристик рассеяния Манделъштама – Бриллюэна (РМБ) [4 – 6]. Анализируя спектр РМБ (СРМБ) в ОВ и определив бриллюэновский сдвиг частоты (БСЧ –  $f_B$ ), получают картину распределения натяжений в нём [1 – 6].

Можно предположить, что бреллюэновские рефлектограммы будут более чувствительны к изгибам ОВ [1, 4, 6].

## Влияние изгибов ОВ на уровень бокового излучения из ОВ

В различных способах НСД используют участки с повышенным уровнем бокового излучения. Появление побочных оптических излучений с боковой поверхности ОВ возможно при возникновении распределенных и локальных давлений на ОВ и на изгибах ОВ из-за преобразования направляемых мод в вытекающие [1 – 4]. При изгибе ОВ происходит изменение угла падения луча на границе сердцевина-оболочка, что приводит к выходу части электромагнитного излучения из ОВ. Протяженный безразрывный съем информации можно осуществить на пологом изгибе ОВ [1, 4].

Появление изгибов ОВ также может влиять на характеристики РМБ, и желательно оценить это влияние на бриллюэновские рефлектограммы.

При изгибе ОВ из-за выхода части излучения из ОВ (происходит изменение угла падения луча, и он становится меньше критического угла) на границе раздела «сердцевина-оболочка» появляются возможности реализации локального НСД [1, 3, 5].

Изгиб вносит оптические потери в ОВ, увеличивающиеся с кривизной ОВ, при этом в нём деформируется оптическая мода, смещающаяся от оси волокна. Изгиб вызывает деформацию в поперечном сечении волокна так, что ОВ испытывает сжатия на одной стороне ОВ (к центру изгиба), в то время как другая сторона подвергается растяжению [1, 7]. В изогнутом ОВ смещение оптического луча, вызванного кривизной, в сочетании с распределением натяжения, вызванным изгибом, приводит к изменению БСЧ, что утверждается в [7].

Так как БСЧ сдвигается при изменении температуры и/или при изменении продольного натяжения ОВ, проявляется трудность классификации изгиба ОВ по смещению максимума СРМБ на бриллюэновских рефлектограммах. Однако изгиб ОВ вносит дополнительные оптические потери в ОВ, увеличивающиеся с кривизной (уменьшением радиуса изгиба) ОВ, что может быть обнаружено с помощью БОИР [5, 7, 8], а при малом радиусе изгиба – и обычным оптическим импульсным рефлектометром. В месте изгиба ОВ оптическая мода деформируется: положение максимума оптической интенсивности смещается относительно оси волокна [7]. Кроме того, кривизна ОВ вызывает натяжение через поперечное сечение ОВ. В изогнутом ОВ смещение, вызванное кривизной оптического пучка, в сочетании с распределением натяжения, вызванным самим изгибом, приводит к изменению БСЧ.

Боковое смещение оптического поля ( $d$ ) из-за изгиба ОВ определяется следующей формулой [7]:

$$d = \frac{a^2 V^2}{4\Delta R} (0.65 + 1.619V^{-1.5} + 2.879V^{-6})^4, \quad (1)$$

где  $a$  – радиус сердечника ОВ,  $V = 2\pi n_1 \sqrt{\Delta} (a / \lambda_l)$  – нормированная частота,  $\Delta = 1 - (n_2 / n_1)^2$ ,  $n_1$  – показатель преломления сердцевинки ОВ,  $n_2$  – показатель преломления оболочки ОВ [7].

На рисунке 1а показано смещение пучка, рассчитанного с помощью (1) при  $\lambda = 1550$  нм,  $a = 4.1$  мкм,  $n_1 = 1.45$  и  $\Delta = 0.0072$  в зависимости от радиуса изгиба ОВ (от 1 см до 5 см). По результатам моделирования видно, что с уменьшением радиуса кривизны ОВ распределение оптического поля смещается от центра кривизны оси ОВ.

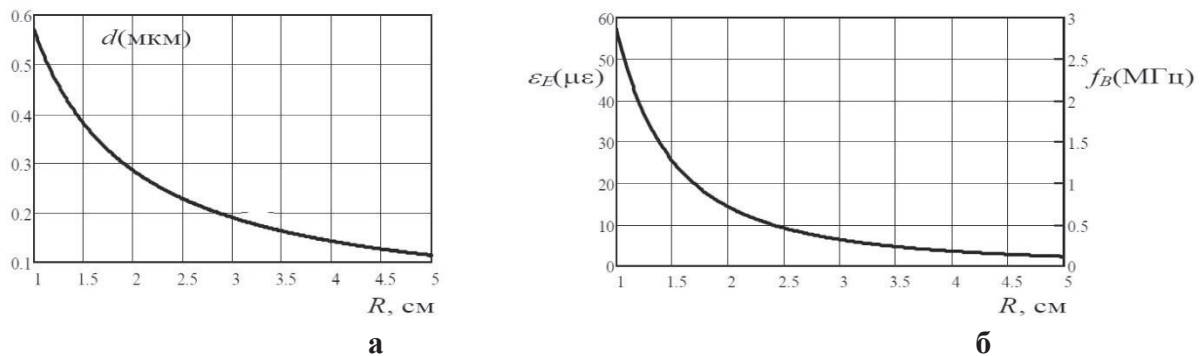


Рис. 1 - График зависимостей характеристик РМБ от радиуса изгиба

Относительное растяжение ОВ, вызванное изгибом радиусом  $R$ , задается выражением:

$$\varepsilon_E = y / R, \quad (2)$$

где  $y$  – расстояние от оси ОВ, взятое вдоль направления изгиба [7].

Распределение оптического поля при изгибе смещается от центра кривизны оси ОВ при уменьшении радиуса изгиба [7]. Считается, что изгиб вводит позиционно-зависимое натяжение участка ОВ. Очевидно, что в месте изгиба должно изменяться натяжение ОВ для большего (внешнего) и меньшего (внутреннего) радиусов ОВ по изгибу (относительно оси ОВ в месте изгиба) (2), а значит, и величины БСЧ [1, 7]. На рисунке 1б показан график изменения натяжения из-за изгиба (левая ось – по оценке смещения света от оси), а на правой оси – график изменения БСЧ.

Анализ показал, что изгиб радиусом в несколько сантиметров приводит к весьма незначительному изменению БСЧ. Натяжение при изгибе на рисунка 1б (вычисленного по формуле (1)) отличается от осевого (продольного – из-за удлинения-сжатия вдоль оси ОВ), и получается значительно меньше оценки натяжения по формуле (2).

Как показывает проведённый анализ, заметного изменения БСЧ в месте изгиба с диаметром более 3 см не наблюдается. При этом при уменьшении диаметра изгиба (менее 3 см) будет наблюдаться падение амплитуды сигнала, что становится заметным на рефлектограммах.

### Экспериментальные исследования влияния изгибов на рефлектограммы БОИР

С целью изучения влияния изгибов различных разновидностей одномодовых ОВ на бриллюэновские рефлектограммы были проведены экспериментальные исследования с БОИР «Ando AQ 8603» при содействии ЗАО «Москабель-Фуджикура».

Результаты исследований влияния изгибов в некоторых одномодовых ОВ (G.652 – обычное ОВ, G.657 – ОВ с повышенной устойчивостью к изгибам, G.655 (NZDSF – ОВ с ненулевой смещённой дисперсией)) были представлены в предыдущих работах [1 – 6].

В приведённых ниже экспериментах для каждой исследуемой разновидности ОВ место изгиба было сформировано на расстоянии не менее 2 м от места стыка ОВ. Изгиб представлял собой полупетлю (полуокружность) определенного диаметра ( $\emptyset$ ). Диаметр полупетли постепенно уменьшался (от 40 мм), при этом наблюдались свойства РМБ в области максимума для исследуемой разновидности ОВ при минимальном шаге по частоте. В результате на бриллюэновской рефлектограмме распределения СРМБ вдоль ОВ наглядно наблюдалось влияние диаметра изгиба на уровень обратно отражённого сигнала [8, 9].

На рисунке 2 показан график изменения натяжения и БСЧ, аналогичные приведённым на рисунке 1, но при больших радиусах изгиба, которые были исследованы в экспериментах.

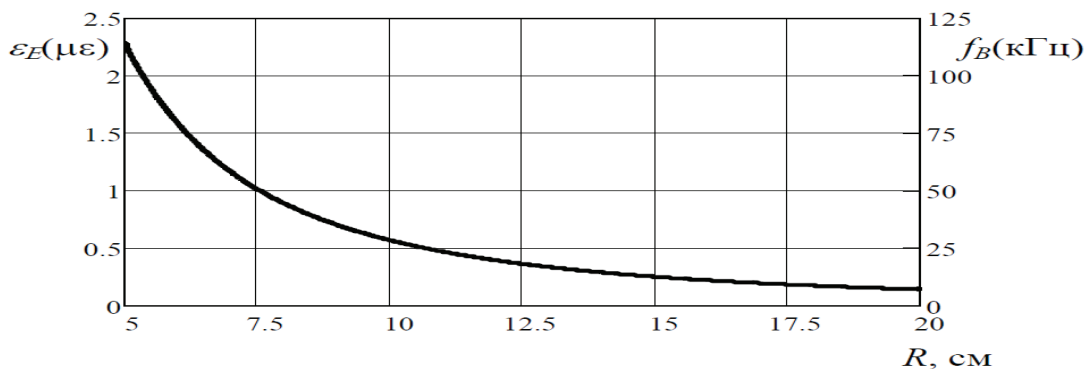


Рис. 2 - График зависимостей внесённого натяжения и БСЧ от радиуса изгиба

Очевидно, что при таких изгибах, характерных для «малозаметных» способов НСД, изменения БСЧ слишком малы.

На рисунке 3 представлены изменения на БОИР рефлектограмме в зависимости от диаметра изгиба для одномодового ОВ “Corning ClearCurve LBL” OF (LBL – G.652), на которой демонстрируется изменение распределение СРМБ вдоль ОВ при уменьшении диаметра изгиба ( $\emptyset$ ) полупетли от 30 мм (начальная область – F1) до 4 мм (конечная область – F2) [8, 9].



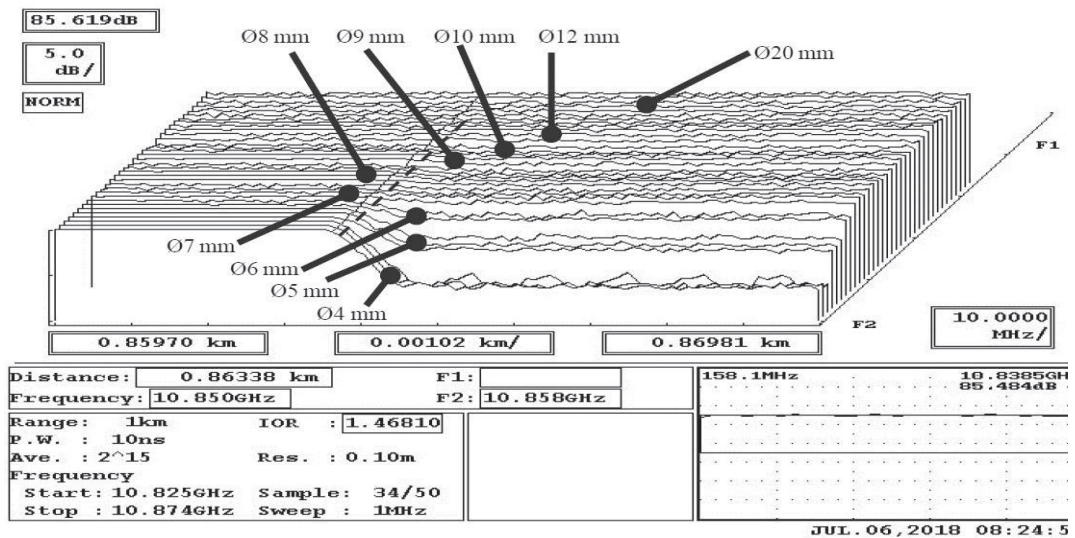


Рис. 3 - Картина распределения СРМБ в месте изгиба ОВ LBL

На рисунке 4 показана БОИР рефлектограмма разновидности ОВ G.652 с уменьшенным диаметром оболочки (диаметр ОВ – 200 мкм), аналогичное ОВ “Corning SMF-28 Ultra 200”, при изменении диаметра полупетли от 25 мм (F1) до 8 мм (F2).

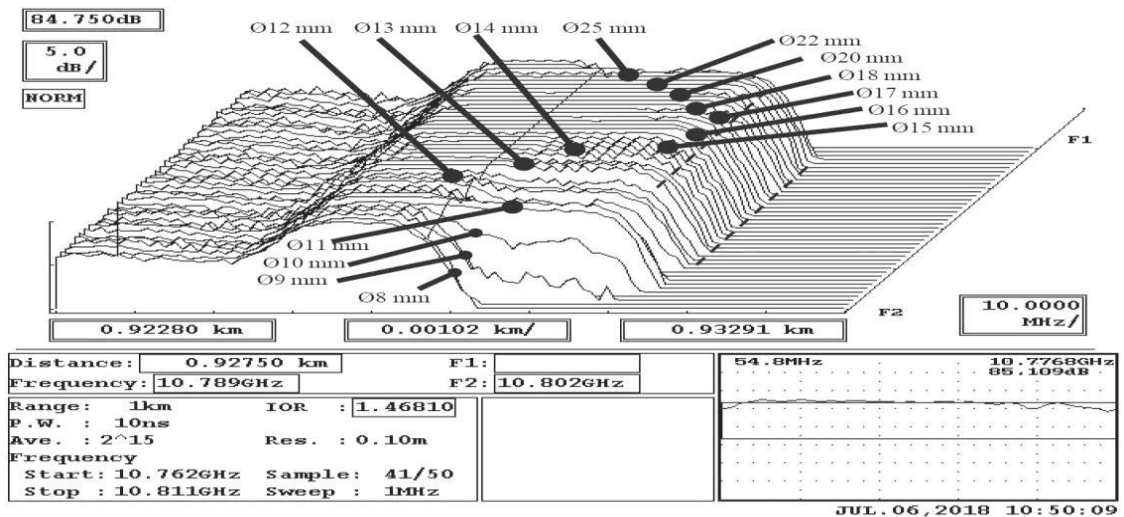


Рис. 4 - БОИР-рефлектограмма СРМБ в месте изгиба ОВ G.652-200 мкм

Как и при поперечных нагрузках порядка 0.2 Н, приводящих к изгибам и микроизгибам [1 – 3], наблюдается существенное изменение рефлектограммы из-за падения уровня отраженного сигнала. Заметного изменения БСЧ в месте изгиба, отмеченного в публикации [7], в проведённых экспериментах не наблюдалось. Изменение БСЧ, вызванное изгибом из-за совместного влияния смещения оптического пучка и растяжения, не превышает единиц МГц, и поскольку БОИР регистрирует «усреднённый» по сечению луч, эти изменения незначительны, в отличие от изменения уровня сигнала РМБ.



На рисунке 5 приведены графики внесённого затухания ( $A$ , дБ) в области изгиба в зависимости от диаметра полупетли для всех рассмотренных ОВ.

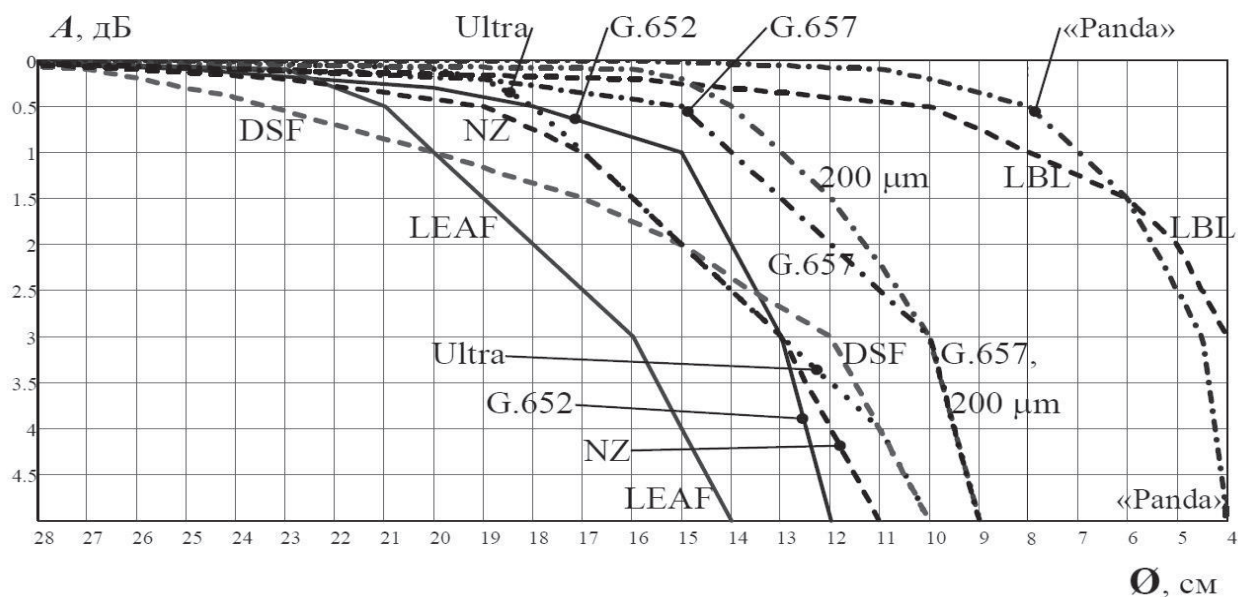


Рис. 5 - Графики внесённого затухания  $A(\varnothing)$  в области изгиба

БОИР-рефлектограмма показывает хорошую чувствительность к изгибам и микроизгибам. БОИР обнаруживает изгиб ОВ, и это происходит из-за резкого изменения уровня отраженного сигнала [1 – 6]. У большинства ОВ изменения на БОИР-рефлектограммах начинают наблюдаться при диаметре изгиба в форме полупетли 20 – 25 мм, что может быть использовано в системе мониторинга ОВ ВОЛС для обнаружения НСД [1, 8, 9].

### Выводы

Во всех рассмотренных случаях БОИР смог обнаружить незначительный изгиб ОВ и зафиксировать место воздействия. У большинства ОВ изменения на бриллюэновских рефлектограммах начинают наблюдаться при диаметре изгиба в форме полупетли 20 – 25 мм. Наименьшая чувствительность к подобным изгибам обнаружилась в ОВ «Panda» и разновидностях ОВ ULTRA. Наибольшая – в DSF. Метод бриллюэновской рефлектометрии позволяет осуществлять раннюю диагностику состояния ОВ ВОЛС, обнаруживать малозаметные способы НСД к ОВ, связанные с изменением температуры, продольным растяжением и изгибами ОВ.

### Литература

1. Bogachkov I. V. Researches of bend influences on Brillouin reflectograms of different types of optical fibers // T-comm. – 2019. – Vol. 13, N. 3. – P. 75–79.
2. Богачков И. В., Горлов Н. И., Трухина А. И. Исследование влияния изгибов оптических волокон на спектр бриллюэновского рассеяния // Всерос. науч.-практ. конф. «Оптическая рефлектометрия – 2016». – Пермь, 2016. – С. 17–19.
3. Богачков И. В., Трухина А. И. Изучение влияния изгибов оптических волокон на бриллюэновские рефлектограммы // Всерос. конф. «Оптическая рефлектометрия – 2018». – Пермь, 2018. – С. 77–79.
4. Трухина А. И., Богачков И. В. Обнаружение изгибов оптических волокон с помощью бриллюэновского рефлектометра // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2018. – Т. 9. – №2. – С. 31–35.
5. Bogachkov I. V., Trukhina A. I. A Detection of Bends of the Optical Fibers by Using Brillouin Reflectometer // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO-2018). – Minsk, 2018. – P. 1–4.

6. *Bogachkov I. V., Trukhina A. I., Gorlov N. I.* Study of Bend Influences of Optical Fibers on Brillouin Reflectograms // 14th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering Proceedings.– Novosibirsk, 2018. – Vol. 1, p. 2. – P. 140–144.
7. *Minardo A., Bernini R., Zeni L.* Bend-Induced Brillouin Frequency Shift Variation in a Single-Mode Fiber // IEEE Photonics Technology Lett. – 2013. – Vol. 25, N. 23. – P. 2362–2364.
8. *Trukhina A. I., Bogachkov I. V., Gorlov N. I.* Researches the influence of bends in optical fibers of various kinds on the Brillouin traces // Systems of signals generating and processing in the field of onboard communications – Proceedings. – Moscow, 2019. – P. 1–5.
9. *Богачков И. В., Александрова А. И.* Изучение бриллюэновских рефлектограмм при изгибах оптических волокон // Сб. тр. IX Междунар. конф. по фотонике и информационной оптике. – М.: НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 133–134.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ПО БРИЛЛЮЭНОВСКИМ РЕФЛЕКТОГРАММАМ

Омский государственный технический университет (ОмГТУ), г. Омск, Россия

Ключевые слова: бриллюэновская рефлектограмма, одномодовое оптическое волокно, рассеяние Манделъштама – Бриллюэна, частотный профиль спектра, бриллюэновский сдвиг частоты.

В статье описана программа для автоматизированного определения разновидностей оптических волокон по рефлектограммам на основе анализа характеристик рассеяния Манделъштама – Бриллюэна, а также для оценки бриллюэновского сдвига частоты и натяжения оптических волокон. Описан анализ характеристик рассеяния Манделъштама – Бриллюэна, приведены примеры экранов работающей программы.

I.V. Bogachkov, N.A. Komisarchuk L. V. Sharafutdinova

## DETERMINING VARIETIES OF OPTICAL FIBERS FROM BRILLOUIN REFLECTOGRAMS

Omsk State Technical University (OmGTU), Omsk, Russia

Keywords: Brillouin trace, single-mode optical fiber, Mandelstam-Brillouin scattering, frequency profile of the spectrum, Brillouin frequency shift.

The article describes a program for the automated determination of optical fiber species from reflectograms based on the analysis of Mandelstam-Brillouin scattering characteristics, as well as for assessing the Brillouin frequency shift and optical fiber tension. An analysis of the Mandelstam - Brillouin scattering characteristics is described, examples of screens of a running program are given.

### Введение

Ранняя диагностика волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) позволяет заблаговременно выявлять участки оптических волокон (ОВ), находящихся в проложенных оптических кабелях (ОК), которые с течением времени могут привести к деградации и разрушению ОВ, что приведёт к выходу ОК из строя [1, 2].

Для этого можно использовать бриллюэновские оптические импульсные рефлектометры (БОИР), которые позволяют обнаруживать участки ОВ с повышенным продольным натяжением ( $E_{\varepsilon}$ ) и изменённой температурой ( $T$ ). После получения картины распределения спектра рассеяния Манделъштама – Бриллюэна (СРМБ) вдоль световода вычисляется бриллюэновский сдвиг частоты (БСЧ –  $f_B$ ), а затем строится картина распределения натяжения вдоль ОВ [1, 2].

### Определение разновидностей оптических волокон на основе анализа характеристик рассеяния Манделъштама – Бриллюэна

Исследования особенностей поведения СРМБ в ОВ различных типов и производителей, проведённые с БОИР, позволили выявить различия частотных профилей СРМБ, определить начальный уровень БСЧ ( $f_{B0}$ ) для каждой исследованной разновидности ОВ и сформировать базу данных характеристик рассеяния Манделъштама – Бриллюэна (РМБ) ОВ различных типов и производителей [3, 4], что позволяет классифицировать вид ОВ.

На рисунках 1 – 3 приведены примеры частотных профилей СРМБ для некоторых разновидностей ОВ, полученных в экспериментальных исследованиях [3, 4].

На рисунке 1 показан профиль СРМБ ОВ-G.652.

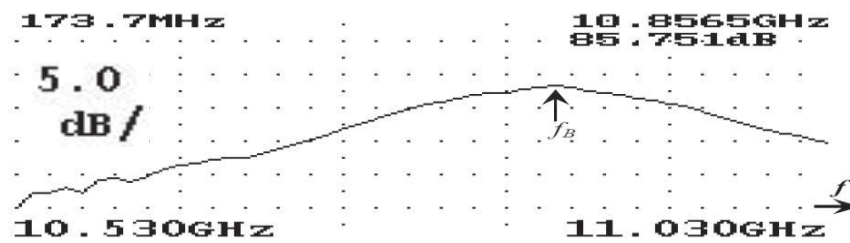


Рис. 1 - Профиль СРМБ ОВ-G.652

На рисунке 2 приведён профиль СРМБ ОВ-G.655, в котором наблюдаются три явных «пики» со спадом уровня, что характерно для NZDSF.

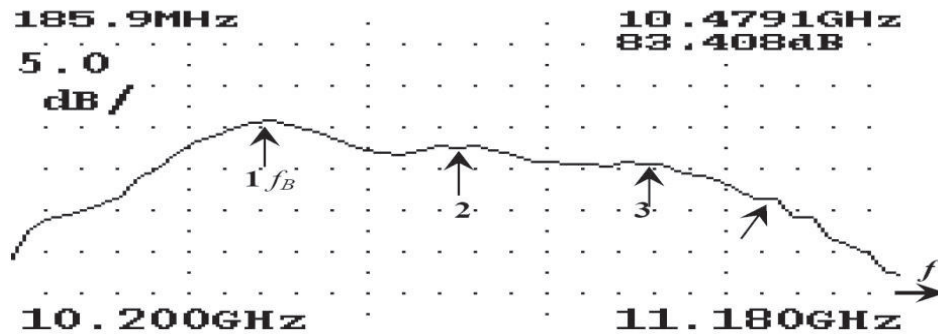


Рис. 2 - Профиль СРМБ ОВ-G.655 (NZDSF)

Профиль СРМБ ОВ-G.652–200 мкм (с уменьшенным диаметром защитной оболочки) представлен на рисунке 3.

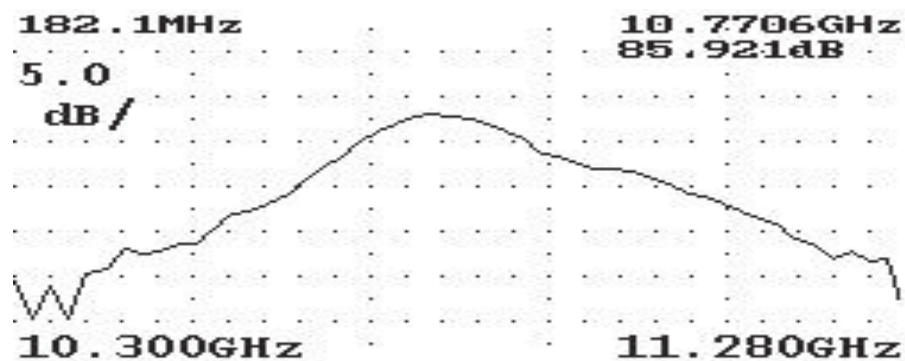


Рис. 3 - Профиль СРМБ ОВ-G.652–200 мкм

В левом нижнем углу на рисунках 1 – 3 показаны начальная частота сканирования, в правом нижнем – конечная, в правом верхнем углу показаны положение ( $f_B$ ) и интенсивность максимума СРМБ, в левом – ширина СРМБ (по уровню 3 дБ) и шаг сетки по оси интенсивности (5 дБ) [3, 4].

Разработанные в ОмГТУ программы [5 – 7] позволяют автоматически определять разновидности оптических волокон по данным бриллюэновским рефлектограммам на основе анализа характеристик РМБ.

На предварительном этапе программой была сформирована база данных графиков (шаблонов) и характеристик РМБ с помощью анализа файла рефлектограммы БОИР [5].

После запуска программы во вкладке «Открыть» (рисунок 4) необходимо выбрать для загрузки файл с рефлектограммой БОИР [6, 7]. Программа из файла рефлектограммы формирует профиль СРМБ ОВ, который выводится на экран, и выполняет анализ данных, необходимых для определения характеристик СРМБ [7].

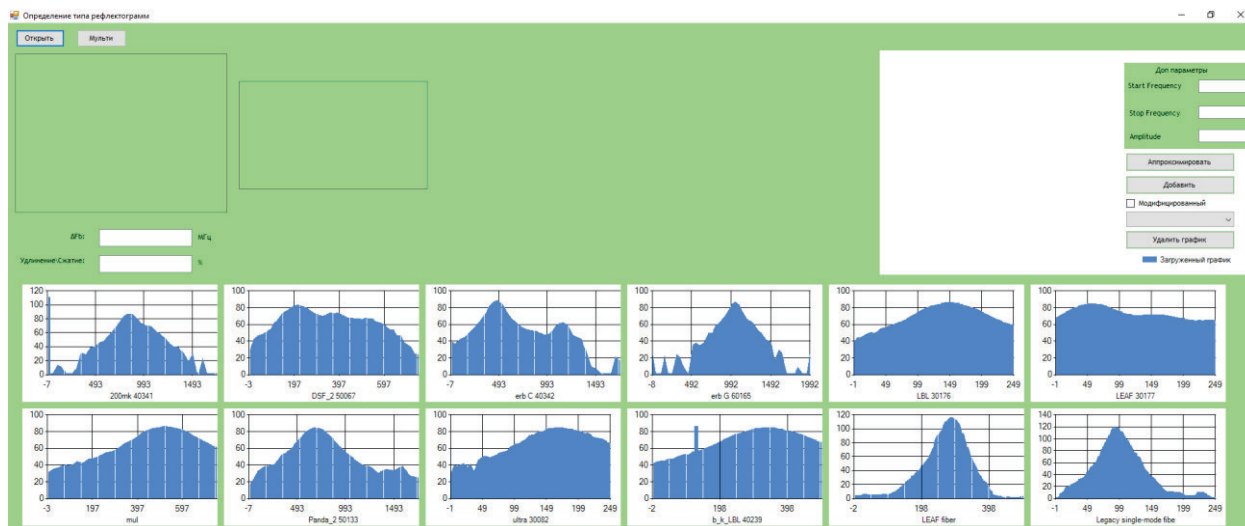


Рис. 4 - Стартовый экран программы

На следующем этапе программа определяет и выводит начальную и конечную частоту (в ГГц), а также интенсивность (в дБ) обратно отражённого сигнала РМБ. После нажатия кнопки «Аппроксимировать» полученный профиль СРМБ ОВ сравнивается с шаблонными графиками из базы данных программы на основе специального алгоритма, а с целью «зрительной помощи» при изучении рефлектограмм шаблон, имеющий наилучшее совпадение с загрузочным изображением, подсвечивается зеленым цветом. По мере уменьшения сходства с исследуемой рефлектограммой цвет изменяется от зеленого цвета к красному.

Кроме того, осуществляется определение изменение БСЧ ( $\Delta f_B$ ) и натяжения ( $\Delta E_\varepsilon$ ) по следующей формуле

$$\Delta f_B(E_\varepsilon, T) = f_B(E_\varepsilon, T) - f_{B0} = C_f^E(E_\varepsilon - E_{\varepsilon 0}) + C_f^T(T - T_0), \quad (1)$$

где «0» индексы соответствуют нормальным условиям – комнатной температуре и отсутствию продольных растягивающих сил [1, 4],  $C_f^E$  и  $C_f^T$  – коэффициенты связи для соответствующих параметров [8].

На рисунке 5 представлен экран после выделения профиля СРМБ. В данном примере анализируется ОВ “LEAF” (современная разновидность G.655 (NZDSF) компании “Corning”), нагретое до +90°C. Также мы наблюдаем полученные значения изменение БСЧ (в МГц) и натяжения (в %) [6, 7].

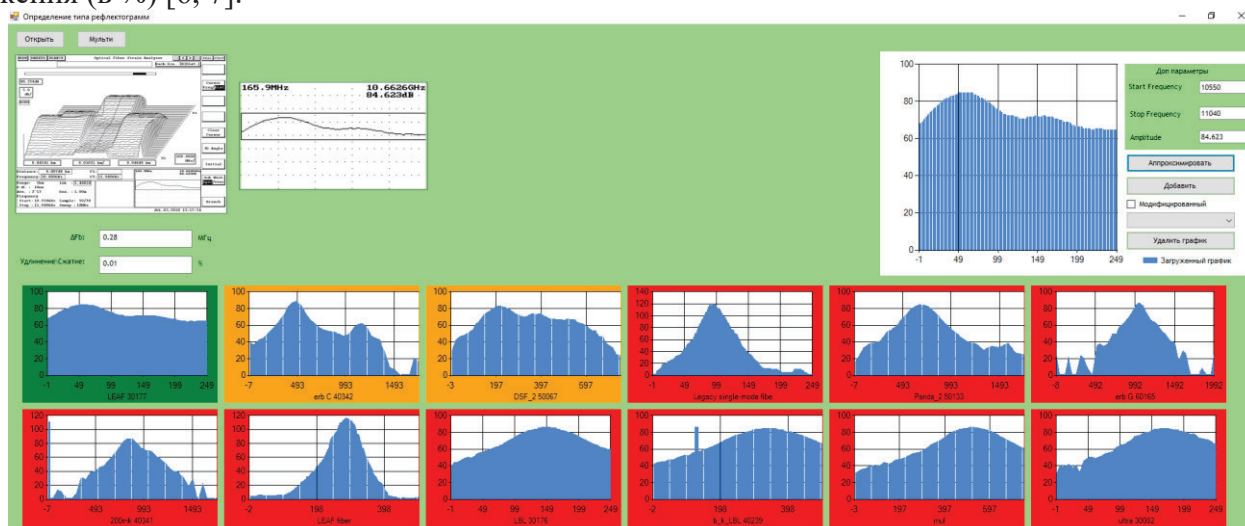


Рис. 5 - Экран определения программой разновидности ОВ, БСЧ и натяжения

На рисунке 6 показан аналогичный скриншот для того же ОВ “LEAF”, но охлажденного до минус 15 градусов (начальная температура равна +27°C). Как видно из этого рисунка, в данном случае наблюдается сжатие (отрицательное удлинение) ОВ.



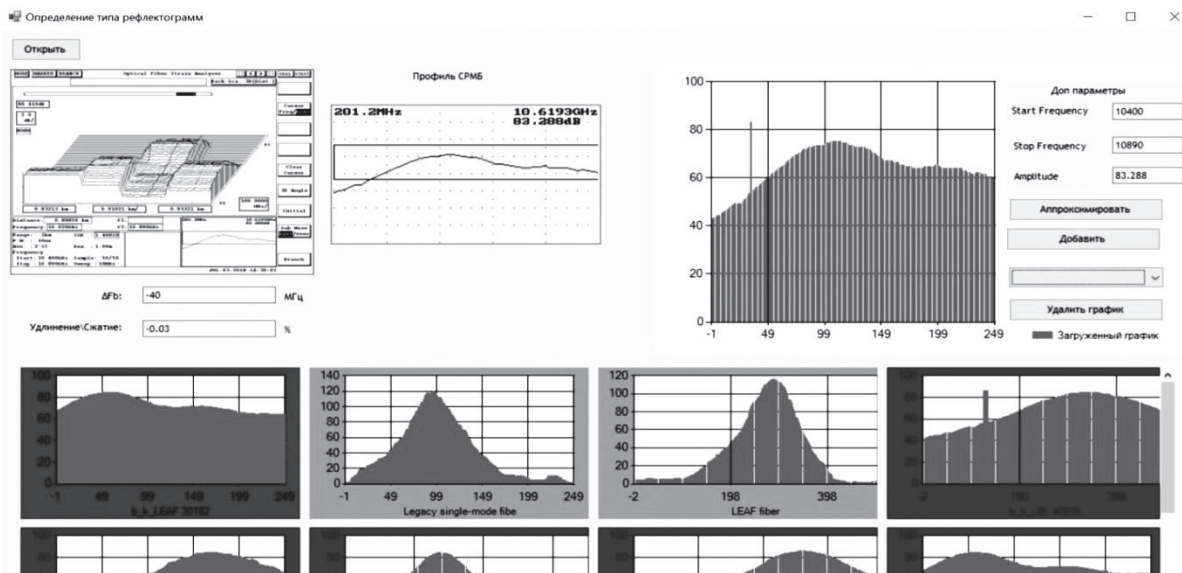


Рис. 6 - Копия экрана при обработке рефлектограммы охлаждённого ОВ “LEAF” при определении разновидности, БСЧ и степени натяжения

### Оценка БСЧ и степени натяжения оптических волокон

Особенностью РМБ является прямая зависимость БСЧ, определяемого положением максимума СРМБ, от температуры и натяжения ОВ, что следует из формулы (1). Данная особенность позволяет при наличии опорных рефлектограмм определять по смещению БСЧ ( $f_B$ ) изменение температуры или натяжения ОВ.

Выделение профиля СРМБ и других характеристик РМБ позволяет сформировать базу данных ОВ различных типов и производителей, которую можно использовать для классификации типа ОВ.

Ранняя диагностика состояния ОВ необходима для прогнозирования эксплуатационных параметров физических каналов оптических телекоммуникационных систем. Это необходимо для своевременного выявления участков ОВ, которые с течением времени могут привести к нарушению нормальной работы ВОЛС [1, 3].

Полученные результаты могут быть использованы для повышения точности измерений и ускорения процесса обработки результатов измерений.

### Литература

1. Богачков И. В., Горлов Н. И. Изучение особенностей рассеяния Мандельштама – Бриллюэна в волокнах различных видов // Телекоммуникации, 2019. – №5. – С. 21–29.
2. Пальчун Ю. А., Ситнов Н. Ю., Горлов Н. И. Мониторинг и методы ранней диагностики повреждений оптических волокон // Измерительная техника. – 2010. – №5. – С.24–28.
3. Богачков И. В., Трухина А. И., Иниватов Д. П., Киреев А. П., Горлов Н. И. Классификация оптических волокон по профилю спектра рассеяния Мандельштама – Бриллюэна // Динамика систем, механизмов и машин. – 2018. – Т. 6, № 4. – С. 96–100.
4. Богачков И. В., Трухина А. И. Исследования влияния структуры оптических волокон на характеристики рассеяния Мандельштама – Бриллюэна // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 15–19.
5. Свидетельство о регистрации электронного ресурса №23734. Программа для автоматического определения типа оптического волокна по бриллюэновской рефлектограмме / И. В. Богачков, Д. П. Иниватов, А. Г. Чобан (ОмГТУ) ; опубл. 14.08.2018.
6. Свидетельство о регистрации электронного ресурса №24421 от 20.12.2019. Программа для формирования базы данных характеристик рассеяния Мандельштама – Бриллюэна в оптических волокнах различных видов / И. В. Богачков, Н. А. Комисарчук, А. С. Литвинова, Л. В. Шарфутдинова; заявитель ОмГТУ. – М. : ОФЭРНиО, 2019.



7. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2019610752. Программа для классификации разновидностей оптических волокон по бриллюэновским рефлектограммам / *И. В. Богачков* (Россия, ОмГТУ). – 2018662391 ; заявлено 07.11.2018; опубл. 18.01.2019.
8. *Belal M., 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*. – 2012. – v. 30, N 8. – P. 1250–1255.

## ОСНОВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К ОПТИЧЕСКИМ ВОЛОКНАМ

Омский государственный технический университет (ОмГТУ), г. Омск, Россия

Ключевые слова: оптическое волокно, несанкционированный доступ, защита.

В работе рассмотрены вопросы несанкционированного доступа к оптическим волокнам волоконно-оптических линий связи. Проанализированы способы формирования различных каналов утечки в оптических линиях передачи. Приведены методы защиты от несанкционированного подключения.

I. V. Bogachkov, I. B. Tugov

## THE BASICS OF DETECTION OF UNAUTHORIZED ACCESS TO OPTICAL FIBERS

Omsk State Technical University (OmGTU), Omsk, Russia

Keywords: optical fiber, unauthorized access, protection.

The issues of unauthorized access to optical fibers of fiber-optic communication lines and methods of protection this unauthorized connection. Methods of forming various leakage channels in optical telecommunication lines are analyzed.

### Введение

В современном мире скорость передачи данных и их помехозащищенность являются одними из важнейших условий качественного обмена информацией. Это требует постоянного улучшения существующих технических средств передачи и разработки новых.

Волоконно-оптическая связь является эффективным методом обмена информацией на внушительные расстояния без утраты качества сигнала и является самой помехозащищенной из всех существующих.

### Общие сведения об оптоволоконно-оптических линиях связи

Волоконно-оптическая система связи – это система обмена информацией, применяющая передачу света посредством его многократного переотражения внутри оптических волокон, которые изготовлены из материала, являющегося оптически прозрачным (стекло, пластик).

Важнейшим достоинством оптического волокна (далее оптоволокна, ОВ), помимо его высокой помехозащищенности и способности к передаче данных на высоких скоростях, является его качественная работа вне зависимости от направления пересылки данных (передача или прием) [1 – 3].

Несмотря на большие затраты и сложность, несанкционированный доступ (НСД) к ОВ возможен, хотя для формирования канала утечки информации требуется непосредственный физический контакт с ОВ. При этом возможность утечки информации из ОВ существует также в местах соединения, разветвления ВОЛС и т. п. [3 – 9]

Способы съема сигнала из ВОЛС по виду подсоединения можно разделить на безразрывные и разрывные, а также на локальные и протяженные [3, 7].

По способам регистрации излучения разновидности съема сигнала из ОВ разделяют на пассивные, активные и компенсационные [3, 6 – 9].

### Методы утечки информации в ВОЛП

Подключение к оптоволокну – процесс дорогой, сложный, но его возможность доказана. Сложность в основном связана с обнаружением точки подключения, когда само подключение не является слишком тяжелым.

В настоящее время зафиксировано несколько инцидентов подключения к оптоволокну. Их основной список приведен ниже:

- 2000 год. В аэропорту Франкфурта, Германия обнаружено подключение к трем главным линиям компании Deutsche Telekom [2];
- 2003 год. Обнаружено подслушивающее устройство на оптической сети компании Verizon [2];
- 2005 год. Была модернизирована специальным образом подводная лодка ВМФ США USS Jimmy Carter для установки несанкционированных подсоединений к подводным кабелям [2, 4].

Выделяют два основных метода подключения к оптоволокну. Первый метод требует перерезания волокна и подсоединения его к промежуточному устройству для съема информации, в то время как при использовании второго метода, подключение выполняется без нарушения потока данных и перерыва сервиса [5].

В зависимости от технологии выделяют следующие методы [2, 6–8]:

1) Сгибание волокна, требующее разбора кабеля до самого волокна. Этот способ образован на принципе распространения света через волокно за счет полного внутреннего отражения. Для реализации данного метода угол падения света на переход между собственно ядром волокна и его оболочкой должен быть больше, чем критический угол полного внутреннего отражения. В противном случае, часть света будет излучаться через оболочку ядра. При сгибании волокна оно искажается таким образом, чтобы угол отражения стал меньше, чем критический, и свет начал проходить через оболочку.

Существует два вида изгибов: микроизгиб и макроизгиб.

В первом случае применение внешнего усилия приводит к острому, но при этом микроскопическому искривлению поверхности, приводящему к осевым смещениям на несколько микрон и пространственному смещению длины волны на несколько миллиметров. Через дефект проникает свет, и он может использоваться для съема информации. Во втором случае используется свойство минимально допустимого радиуса изгиба волокна. Если волокно сгибается при меньшем радиусе, то возможен пропуск света, достаточный для съема информации. Обычно минимальный радиус изгиба одномодового волокна составляет 6.5–7.5 см, за исключением волокна специального типа. Многомодовое волокно может быть изогнуто до 3.8 см;

2) Оптическое расщепление. Оптоволокну вставляется в устройство, называемое сплиттер, которое способно отводить долю оптического сигнала. Настоящий метод подразумевает нарушение целостности канала, так как требуется разрезание волокна. Данное вмешательство непременно спровоцирует включение тревоги. Тем не менее, необнаруженное подсоединение такого типа может функционировать годами;

3) Применение неоднородных волн для перехвата сигнала от волокна-источника в волокно-приемник. Осуществляется за счет полировки оболочек волокон до поверхности ядер с последующим их соединением, что позволит некоторой доли сигнала проникнуть во второе волокно. Недостатки данного метода состоят в том, что он требует значительный уровень профессионализма его исполнителя и не может быть воспроизведен в полевых условиях;

4) V-образный вырез – особое углубление в оболочке волокна, достигающее до самого ядра и выполненное так, чтобы световой поток в волокне получил полное внутреннее отражение. Тогда часть данного потока приобретает способность выйти из основного волокна посредством V-образного выреза;

5) Рассеяние. На ядре волокна создается решетка Брэгга, посредством которой добиваются отражения доли сигнала с волокна. Данный метод довольно труден, так как для его реализации требуется наложение и интерференция ультрафиолетовых лучей, формируемых лазером.

#### **4 Методы защиты от несанкционированного подключения**

Методы защиты, позволяющие снизить до минимума воздействие сторонних несанкционированных подключений, подразделяются на 3 основных вида [5]:

1) мониторинг и наблюдение за кабелем:

- мониторинг сигналов вблизи оптоволокну, подразумевающий применение оптоволокну с

дополнительными волокнами, по которым будет подаваться отдельный сигнал контроля. Данное дополнение повлияет на стоимость кабеля, однако любая попытка сгиба кабеля вызовет потерю сигнала мониторинга, что в свою очередь вызовет срабатывание тревоги;

- встраивание в кабель электрических проводников. Тогда при нарушении защитной оболочки кабеля между введенными проводниками изменится емкость, что приведет к срабатыванию тревоги;

- мониторинг модовой мощности, что применимо лишь к многомодовому волокну, в котором затухание – это функция моды, в которой распространяется свет. Скрытое подключение оказывает воздействие на определенные моды, затрагивая и другие моды, что приводит к перераспределению энергии от проводящих мод к непроводящим. Меняется соотношение энергии в ядре волокна и в его оболочке. Изменение энергии в модах возможно обнаружить на стороне приема с помощью специальных измерений;

- измерение оптически значимой мощности в оптоволокне. В случае различия измеренного значения оптически значимой мощности и установленного, система реагирует сигналом тревоги. Однако для этого необходимо произвести надлежащую кодировку сигнала, чтобы в волокне наличествовал неизменный уровень сигнала, не зависящий от наличия в кабеле передаваемой информации;

- применение оптических рефлектометров, определяющих расстояние по трассе, на котором обнаружено падение уровня сигнала;

- способы с применением пилотного тона. Пилотные тоны используются для выявления перерывов в передаче для обнаружения атак, связанных с установкой помех, но при отсутствии воздействия этих атак на несущие волновые частоты пилотных тонов данный метод перестает быть результативным. О присутствии НСД возможно судить лишь по значительной деградации уровня сигнала пилотного тона;

2) волокно с низкими потерями (сильногнувшееся волокно, волокно с сильным радиусом изгиба). Защищает сеть передачи данных, ограничивая высокие потери, появляющиеся при прокалывании оптоволокна или его сгибании. Помимо этого, для светового потока становятся менее влиятельными такие факторы как перекручивание, вытягивание или прочие физические воздействия на волокно;

3) шифрование данных. Несмотря на то, что шифрование не мешает несанкционированному подключению к оптоволокну, однако оно делает похищенные данные малополезными для злоумышленников. Обычно шифрование классифицируется по уровням 2 и 3.

- шифрование третьего уровня, примером которого является протокол IPSec. Данный протокол реализуется непосредственно на стороне пользователя, что порождает некоторые задержки в обработке. Подключается в начале сессии, и его общая реализация может оказаться довольно сложной, если в работу вовлечено существенное количество сетевых элементов;

- шифрование второго уровня, освобождающее все элементы третьего уровня от любого необходимого шифрования информации. Одним из возможных источников шифрования второго уровня является оптический CDMA, считающийся относительно безопасным. Допущение лишь в том, что он базируется на методах расшифровки методом грубой силы и упускаются из виду более продвинутые способы [5, 6].

При механическом или акустическом воздействии можно достичь изгиба ОВ, при котором угол падения электромагнитной волны на границе сердцевина-оболочка превышает критический угол, что приводит к выходу части электромагнитного излучения из ОВ. Это создает возможность НСД. Появление изгиба ОВ диаметром от 20 до 18 мм приводит к изменению коэффициента затухания на 0.2 – 1.0 дБ соответственно [9 – 11].

Рассмотренные выше методы вносят определённые потери и обладают обратным рассеянием света в местах сформированного канала утечки, что позволяет обнаруживать НСД с помощью метода оптической рефлектометрии [10, 11].

Кроме того, изменение рефлектограмм относительно эталонных (появление новых «событий», изменение уровня отраженного сигнала и т. п.), позволяет сделать предположение о возможном НСД к ВОЛС [9 – 11].

Таким образом, необходимо обеспечить контроль попыток НСД к ВОЛС и их фиксацию с

целью предотвращения съема передаваемой информации.

#### Литература

1. Богачков И. В., Горлов Н. И. Методы и средства мониторинга и ранней диагностики волоконно-оптических линий передачи. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 192 с.
2. Miller S. K. Hacking at the Speed of Light // Security Solutions Magazine. – April, 2006.
3. Богачков И. В., Трухина А. И. Обзор способов формирования каналов утечки информации в оптических волокнах // Современные проблемы телекоммуникаций: Мат. Рос. науч.-техн. конф. – Новосибирск: Изд-во СибГУТИ, 2016. – С. 291–295.
4. Miller S. K. Optical illusion // Information security Issue. – Nov, 2006.
5. Iqbal M. Z., Fathallah H., Belhadj N. Optical fiber tapping: methods and precautions // High capacity optical networks and enabling technologies. – 2011.
6. Гришачев В. В., Кабашкин В. Н., Фролов А. Д. Анализ каналов утечки информации в волоконно-оптических линиях связи: нарушение полного внутреннего отражения // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2005. – №4. – С. 194–204.
7. Манько А., Каток В., Задорожний М. Защита информации на волоконно-оптических линиях связи от несанкционированного доступа // Правовое, нормативное и метрологическое обеспечение систем защиты информации. – 2001. – №2. – С. 249–255.
8. Аграфонов Ю. В., Липов Д. Б., Малов А. Н. Структура волноводных мод и несанкционированный доступ в волоконно-оптических линиях связи // Сб. тр. Байкальской школы фундаментальной физики. – Иркутск, 1999. – С. 296–298.
9. Богачков И. В., Горлов Н. И., Трухина А. И. Исследование влияний изгибов оптических волокон на спектр бриллюэновского рассеяния // Сб. докладов Всерос. науч. конф. «Оптическая рефлектометрия – 2016». – Пермь, 2016. – С. 17–19.
10. Пальчун Ю. А., Ситнов Н. Ю., Горлов Н. И. Мониторинг и методы ранней диагностики поврежденных оптических волокон // Измерительная техника. – 2010. – №5. – С. 24–28.
11. Yurchenko A. V., Gorlov N. I., Alkina A. D., Mekhtiev A. D., Kovtun A. A. Research of the additional losses occurring in optical fiber at its multiple bends in the range waves 1310nm, 1550nm and 1625nm long // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 671, №1.

## ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ПО БРИЛЛЮЭНОВСКИМ РЕФЛЕКТОГРАММАМ

Омский государственный технический университет (ОмГТУ), г. Омск, Россия

Ключевые слова: бриллюэновская рефлектограмма, одномодовое оптическое волокно, спектр рассеяния Манделъштама – Бриллюэна, оптический кабель, волоконно-оптическая линия связи, бриллюэновский сдвиг частоты.

В статье представлена программа для автоматизации анализа характеристик рассеяния Манделъштама – Бриллюэна по рефлектограммам. Программа позволяет определить продольное натяжение оптических волокон и оценить влияние изменений температуры, что позволяет компенсировать влияние температуры на график продольного натяжения. Приведены примеры экранов работающей программы.

I.V. Bogachkov, L.V. Sharafutdinova, N.A. Komisarchuk

## PROGRAM FOR ANALYZING CHARACTERISTICS OF OPTICAL FIBERS BY BRILLOUIN REFLECTOGRAMS

Omsk State Technical University (OmGTU), Omsk, Russia

Keywords: Brillouin reflectogram, single-mode optical fiber, Mandelstam-Brillouin scattering spectrum, optical cable, fiber-optic communication line, Brillouin frequency shift.

The article presents a software for automated analyzing the Mandelstam - Brillouin scattering characteristics from reflectograms. The program allows you to determine the longitudinal strain of optical fibers and evaluate the effect of temperature changes, which allows you to compensate for the effect of temperature on the graph of the longitudinal strain. Examples of running program screens are given.

### Введение

Для ранней диагностики оптических волокон (ОВ), находящихся в проложенных оптических кабелях (ОК), используются бриллюэновские оптические импульсные рефлектометры (БОИР). БОИР позволяет обнаруживать участки ОВ с повышенным продольным натяжением и изменённой температурой [1, 2].

В БОИР анализируется обратно отражённый сигнал, содержащий компоненты обратного рассеяния Манделъштама – Бриллюэна (РМБ). После получения картины распределения спектра рассеяния Манделъштама – Бриллюэна (СРМБ) вдоль световода (БОИР рефлектограмма распределения СРМБ) определяется бриллюэновский сдвиг частоты (БСЧ –  $f_B$ , частота, на которой обнаруживается максимум СРМБ). После этого строится картина распределения натяжения вдоль ОВ [1, 3].

### Анализ характеристик рассеяния Манделъштама – Бриллюэна по рефлектограммам

Особенностью рассеяния РМБ линейная зависимость БСЧ, определяемого положением максимума СРМБ, от температуры и натяжения ОВ [3 – 5].

Смещение БСЧ ( $\Delta f_B$ ) из-за изменений натяжения ( $E_\varepsilon$ ) и температуры ( $T$ ) определяется по следующей формуле:

$$\Delta f_B(E_\varepsilon, T) = f_B(E_\varepsilon, T) - f_{B0} = C_f^\varepsilon(E_\varepsilon - E_{\varepsilon 0}) + C_f^T(T - T_0), \quad (1)$$

где «0» индексы соответствуют нормальным условиям: комнатной температуре и отсутствию продольных растягивающих сил, –  $C_f^\varepsilon$  и  $C_f^T$  – коэффициенты связи для соответствующих параметров [5].



В представленных программах [6 – 8] используется собственная база данных эталонных графиков и характеристик РМБ, которая была сформирована с помощью программы анализа файла рефлектограммы БОИР [6]. Усовершенствованная версия программы [7] выводит начальную, конечную частоту и амплитуду в максимуме, а также позволяет корректировать данные для шаблонов.

На начальном этапе программы следует активировать вкладку «Мульти» (рисунок 1), после чего нужно загрузить файл данных мультирефлектограммы БОИР [7, 8].

На каждой мультирефлектограмме БОИР (загруженное изображение которой показано на рисунках 1 – 3 в левом верхнем углу) представлены зависимости по длине световода натяжения (“Strain”), профиля СРМБ на выбранной продольной координате (“B.S.”), ширины СРМБ (“B.S.W”) и уровня обратно отражённого сигнала (“Loss”) [1, 8].

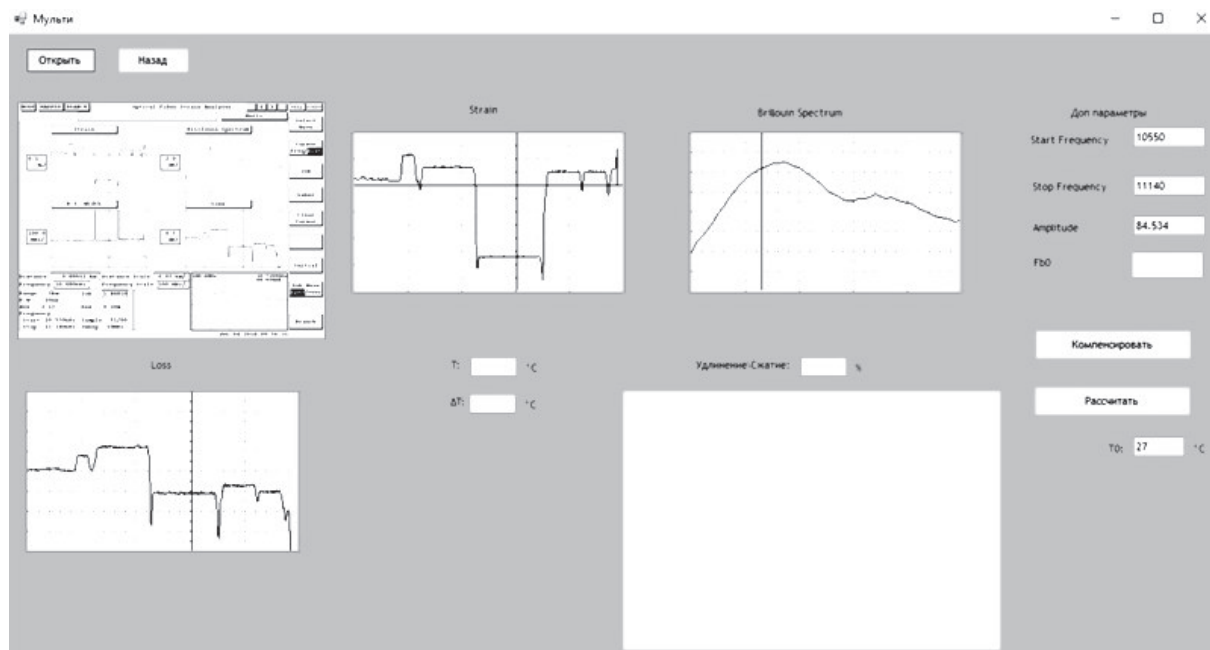


Рис. 1 - Копия экрана после загрузки файла

Необходимая для анализа область автоматически «вырезается» программой, и после этого формируются частотный график СРМБ ОВ, графики натяжения и уровня обратно отражённого сигнала, которые выводятся на экран, и используются для дальнейшего анализа. Также отображается температура («Т0»), принимаемая за начальную (рисунок 2).

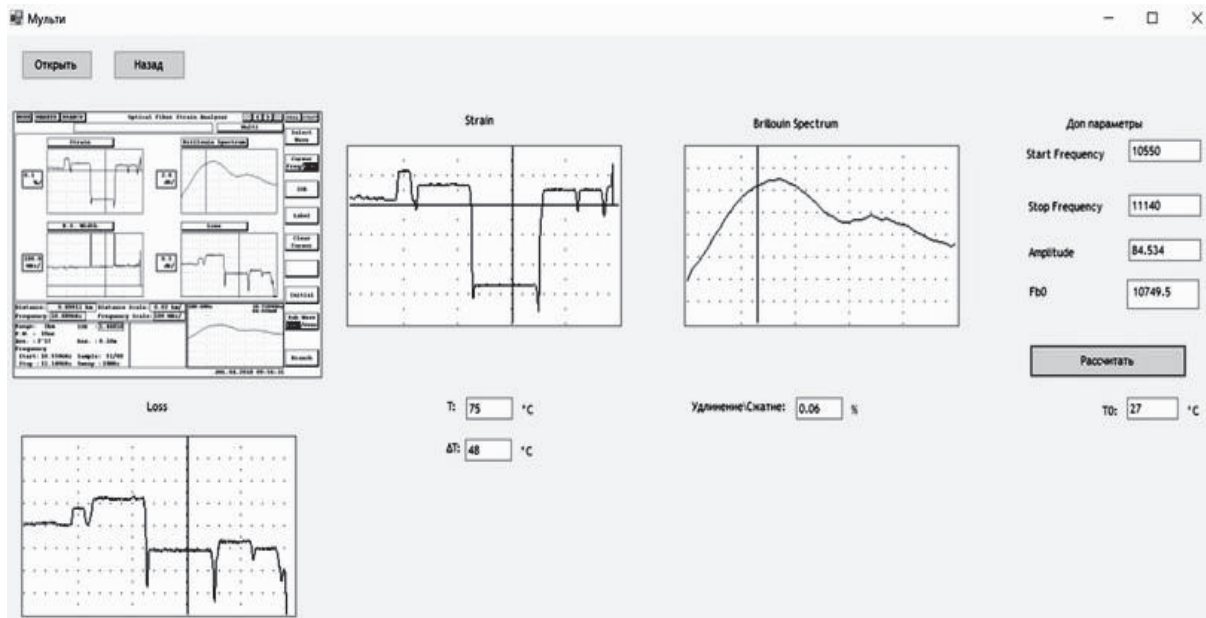


Рис. 2 - Экран определения программой БСЧ, температуры и уровня натяжения

После нажатия кнопки «Рассчитать» для участка ОВ, файл которого загружен, производится вычисление изменения БСЧ относительно начального, и далее рассчитывается натяжение ОВ, а также находится температура исследуемого ОВ и её изменения («ΔТ») относительно начальной («Т<sub>0</sub>»), при изменениях которой можно сделать перерасчет разницы температур ОВ и натяжения, нажав кнопку «Рассчитать».

Определение смещения БСЧ, вызванного только температурными изменениями, позволяет выделить изменения натяжения, внесённые исключительно температурой, что даёт возможность получить график распределения натяжения в световоде, вызванные только продольными растягивающими нагрузками [1, 3].

Для этого, кроме определения БСЧ (анализ СРМБ) и оценки его смещения относительно  $f_{B0}$ , необходимо также регистрировать распределение уровня обратно отражённого сигнала РМБ («Loss») вдоль световода. После исключения явных отражательных событий таких, как стыки различных ОВ и т. п., определяются участки ОВ с линейным возрастанием (повышение температуры ОВ) или уменьшением (охлаждение ОВ) мощности обратно отражённого сигнала РМБ вдоль световода [1, 3, 8].

Изменение температуры определяется по формуле:

$$\Delta T = T - T_0 = \frac{P(T)/P(T_0)}{1.0033} = \frac{P(T)[\text{дБ}] - P(T_0)[\text{дБ}]}{1.0145[\text{дБ/К}]}, \quad (2)$$

и это позволяет определить изменение БСЧ и натяжения ОВ при фиксированной температуре  $f_B(E_\varepsilon)$  и выделить натяжение из-за продольных растягивающих сил:

$$f_B(E_\varepsilon) = f_{B0} + C_f^\varepsilon (E_\varepsilon - E_{\varepsilon 0}) + f_{BT}, \quad E_\varepsilon = E_{\varepsilon 0} + (f_B - f_{B0} - f_{BT}) / C_f^\varepsilon, \quad (3)$$

где  $f_{BT} = C_f^T (T - T_0) = C_f^T \Delta T$  – смещение БСЧ, вызванное исключительно температурными изменениями [1, 3, 8].

Таким образом, если наблюдается характерное изменение интенсивности обратно отражённого сигнала РМБ, то можно определить, какой именно фактор: изменение температуры или изменение продольного растягивающего воздействия, – вызвало изменение БСЧ.

На основании алгоритма, описанного выше, по графику уровня обратно отражённого сигнала («Loss») определяется изменение БСЧ, вызванное только изменением температуры, и производится соответствующая компенсация в зависимостях продольного натяжения, после нажатия кнопки «Компенсировать» (рисунок 3).

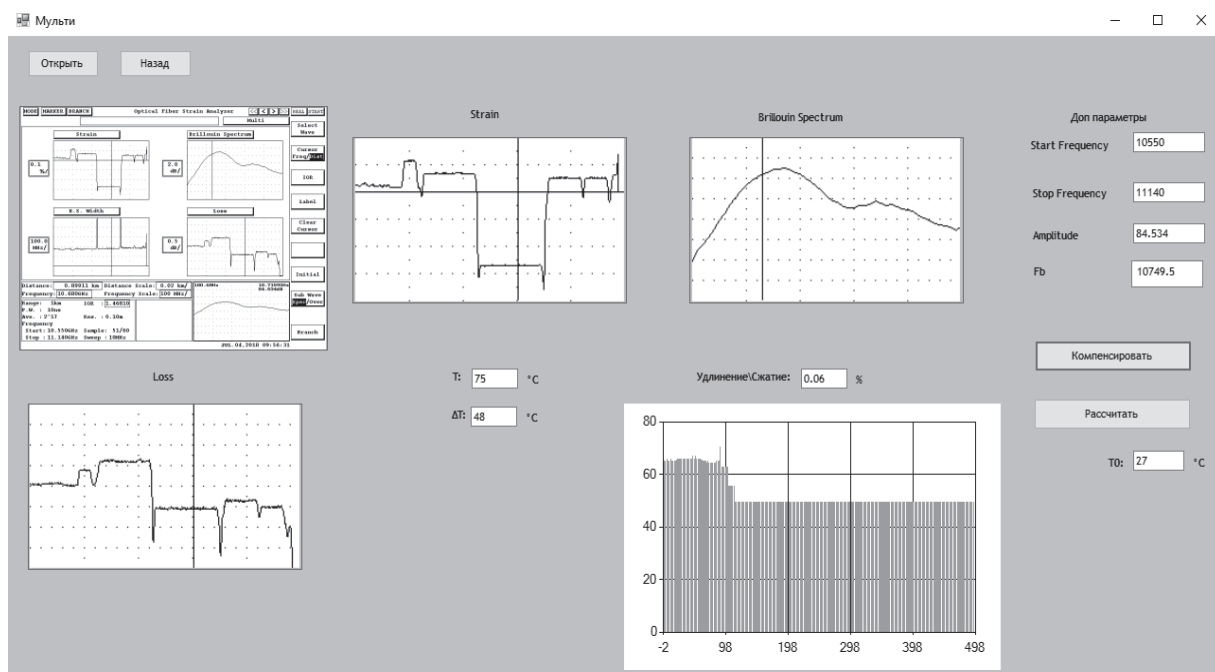


Рис. 3 - Копия экрана после нажатия кнопки «Компенсировать»  
(компенсация изменений натяжения, вызванных повышением температуры)

Представленные в данном исследовании результаты показывают, как на основании анализа мультирефлектограмм БОИР можно автоматически выявлять фактор, оказывающий преимущественное влияние на БСЧ и натяжение ОВ в исследуемых участках ОВ волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) [1, 3].

После обнаружения участков с характерным изменением интенсивности обратно отражённого сигнала РМБ можно определить величину изменения температуры.

Если, кроме изменения БСЧ наблюдается также изменение интенсивности обратно отражённого сигнала РМБ, то можно автоматически оценить изменение температуры и скорректировать графики продольного натяжения, что позволит выявить продольные растягивающие воздействия в ОВ [1, 3, 8].

При использовании БСЧ и других характеристик РМБ из базы данных ОВ различных типов и производителей можно повысить скорость и точность измерений.

Это позволяет повысить эффективность ранней диагностики состояния ОВ в ВОЛС, необходимой для прогнозирования эксплуатационных параметров физических каналов оптических телекоммуникационных систем [3].

## Литература

1. Богачков И. В. Классификация факторов, вызывающих изменение натяжения оптических волокон, на основании бриллюэновских рефлектограмм // *Динамика систем, механизмов и машин.* – 2019. – Т. 7, № 4. – С. 184–191.
2. Yurchenko A. V., Gorlov N. I., Alkina A. D., Mekhtiev A. D., Kovtun A. A. Research of the additional losses occurring in optical fiber at its multiple bends in the range waves 1310nm, 1550nm and 1625nm long // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2016. – v. 671, №1.
3. Bogachkov I. V. Classification of the factors causing the change of the optical fiber strain on the basis of Brillouin reflectograms // *Journal of Physics: Conference Series,* 2020. – v. 1441.
4. Parker T., Farhadiroushan M., Handerek V., Rogers A. Temperature and strain dependence of the power level and frequency of spontaneous Brillouin scattering in optical fibers // *Optics letters,* 1997. – v. 26, N 11. – P. 787–789.
5. Belal M., 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.* – 2012. – v. 30, N 8. – P. 1250–1255.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2019610752. Программа для классификации разновидностей оптических волокон по бриллюэновским рефлектограммам / *И. В. Богачков* ; заявитель ОмГТУ. – заявл. 07.11.2018. – № 2018662391; опубл. 18.01.2019.
7. Свидетельство о регистрации электронного ресурса №24422. Программа для выявления участков с изменённой температурой в оптических волокнах различных видов / *И. В. Богачков, Н. А. Комисарчук, А. С. Литвинова, Л. В. Шарафутдинова*; заявитель ОмГТУ. – М. : ОФЭРНиО, 2019; опубл. 20.12.2019.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019667360. Программа для выявления типа воздействия на оптические волокна и определения их натяжения / *И. В. Богачков* ; заявитель ОмГТУ. – заявлено 13.12.2019. – 2019666447; опубл. 23.12.2019

## МЕТОД МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ),  
г. Новосибирск, Россия

*Ключевые слова:* оптоволоконно, линия связи, несанкционированный доступ, волоконно-оптическая система передачи, оптический рефлектометр, утечка информации, сеть доступа, мониторинг.

В докладе рассматривается проблема защиты информации от несанкционированного доступа и представлены результаты сравнительного анализа методов извлечения информации из оптического волокна. Из проанализированных способов формирования каналов утечки информации по волоконно-оптической линии связи наиболее доступным является нарушение полного внутреннего отражения, а именно изгиб. Преимущество этого метода заключается в возможности организовать направленный выход излучения. Изменяя радиус изгиба волокна, злоумышленник может достичь таких значений оптической мощности, что этого будет достаточно для перехвата информации. В этом случае внесенные потери будут соизмеримы с естественными.

N.I. Gorlov, V.Ye. Kushnin

## METHOD OF MONITORING INFORMATION SECURITY OF FIBER-OPTIC LINK

The Siberian state University of telecommunications and Informatics (SibGUTI)  
Novosibirsk, Russia

*Keywords:* optical fiber, communication line, unauthorized access, fiber-optic transmission system, optical reflectometer, information leakage, access network, monitoring.

The report deals with the problem of protecting information from unauthorized access and presents the results of a comparative analysis of methods for extracting information from optical fiber. Of the analyzed methods for forming channels of information leakage over a fiber-optic communication line, the most accessible is the violation of complete internal reflection, namely, bending. The advantage of this method is the ability to organize a directed output of radiation. By changing the bending radius of the fiber, an attacker can achieve such optical power values that it will be enough to intercept information. In this case, the losses incurred will be commensurate with the natural losses.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) в силу технологической сложности съема информации с оптического волокна (ОВ), продолжительное время считались наиболее защищенной средой передачи [1]. Со временем, с развитием науки и техники были созданы технологии и средства, в значительной степени упрощающие процесс подключения к ОВ, в том числе безразрывными способами. В этой связи вопрос защиты информации в ВОЛС – основном средстве создания линейных трактов, стал одним из приоритетных [2].

Формирование канала утечки в ОВ происходит за счет отвода части оптической мощности за пределы среды распространения. Обязательным для этого условием является физический контакт, что обусловлено принципами распространения электромагнитной волны в световоде [1].

Известные сегодня методы физического съема с ОВ по принципу формирования канала утечки делятся на три группы [3]:

1. Пассивные методы, основанные на том, что даже в нормальных условиях небольшая часть рассеянного излучения в местах соединений, устройствах ввода (вывода) и самом ОВ проникает во внешнюю среду. За счет использования таких естественных потерь съем выполняется в «прозрачном» режиме, без изменения параметров излучения.

2. Активные методы, предполагающее внешнее воздействие на ОВ (например, путем изменения формы или установкой оптических разветвителей). В отличие от пассивных методов теоретически позволяют реализовать съем на любом участке линии связи. В то же время внешнее воздействие вызывает изменение параметров распространяющегося в волноводе излучения и является демаскирующим признаком.

3. Компенсационные методы, предполагающие компенсацию выводимого активными методами излучения с целью сокрытия факта несанкционированного подключения. Призваны объединить достоинства двух первых групп, но в настоящее время являются только теоретическими.

В современных условиях исследователи ставят под сомнение реализуемость пассивных методов по причине низкой чувствительности [4]. Предполагается, что места с достаточным для пассивного съема уровнем излучения на современных ВОЛС минимизируются на этапе строительства и подлежат охране. Наиболее вероятными к применению считаются активные методы, реализуемые внешними безразрывными способами: изгибом, растяжением, скручиванием, акустическим «озвучиванием», охлаждением, воздействием физических полей и т.д. [5]

Решение проблемы защиты информации, передаваемой в ВОЛС, развилось в двух основных направлениях: защите содержательной составляющей передаваемых сигналов (например, методами криптографии, кодового зашумления, детерминированного хаоса) и защите передаваемого оптического излучения (мониторинг несанкционированных подключений путем анализа параметров ВОЛС).

Методы защиты, основанные на защите содержательной составляющей передаваемых сигналов, считаются надежными, но предъявляют высокие требования к оборудованию и системе организации связи в целом (например, необходимость организации обмена ключами при использовании криптографии). Кроме того, они не позволяют получать информацию о попытках несанкционированного доступа.

Методы, основанные на мониторинге, являются более доступными как с точки зрения организационных моментов, так и в силу технических особенностей:

- независимость от структуры и скорости передачи цифровых сигналов;
- более низкая стоимость;
- возможность применения в сетях различных уровней иерархии (локальных, абонентских, зональных);
- возможность получения информации о попытках несанкционированного доступа.

Принцип мониторинга несанкционированных подключений основан на том, что любое внешнее воздействие на ОВ приводит к изменениям как локальных характеристик световода, так и параметров линии связи в целом [5]. На участке физического воздействия на световод происходит:

- увеличение потерь мощности направляемых мод (вносимые потери);
- увеличение обратного рассеяния (возвратные потери);
- появление выраженного двулучепреломления (проявление фотоупругого эффекта кварцевого волокна).

В линии связи при внешнем воздействии происходит:

- увеличение затухания;
- увеличение поляризационной модовой дисперсии;
- увеличение коэффициента ошибок.

Изменения указанных выше параметров является индикаторами для современных средств мониторинга – специализированных комплексов. Функционально комплекс мониторинга состоит из трех основных компонентов [5]:

- модуля управления;
- модуля фиксации изменений состояния ВОЛС [2];



- модуля анализа изменений состояния ВОЛС.

Модуль управления служит для синхронизации и управления работой других модулей, а также взаимодействия с системой передачи данных [5].

Основой модуля фиксации изменений состояния ВОЛС является система диагностики состояния (СДС) линии связи. СДС реализуются с анализом либо прошедшего через линию связи излучения, либо отраженного (рефлектометрические СДС).

Основным недостатком СДС с анализом прошедшего сигнала является отсутствие информации о месте обрыва или неоднородности, что значительно ограничивает возможности комплекса мониторинга [5].

СДС с анализом отраженного излучения, когда приемник и передатчик находятся с одной стороны линии, является более сложной и функциональной. Принцип работы импульсной рефлектометрии состоит в том, что в линию связи вводится мощный короткий импульс, и затем, на этом же конце, регистрируется излучение, рассеянное в обратном направлении на различных неоднородностях, по интенсивности от времени которого можно судить о потерях и их причинах.

При применении рефлектометрических СДС первоначально формируются эталонные рефлектограммы при разных динамических параметрах зондирующего сигнала, с которыми в последующем сравниваются текущие. Локальное отклонение рефлектограммы более чем на 0,1 дБ свидетельствует о вероятной попытке несанкционированного подключения [2].

Основным достоинством СДС с анализом отраженного излучения является возможность получения информации о месте нахождения обрывов и неоднородностей в ОВ.

Вместе с тем у рефлектометрических СДС отмечают следующие недостатки:

- длительное время получения рефлектограммы (от десятка секунд до нескольких минут), в течение которого отсутствует информация о состоянии линии;

- сложность анализа рефлектограммы в случае большего числа элементов сети, точек отражения и участков затухания зондирующего сигнала;

- отсутствие точной информации о ветви или участке возникновения неоднородности в оптическом волокне, когда неоднородность появляется в одном из участков, расположенным за оптическим разветвителем. Это связано с тем, что точка на рефлектограмме представляет собой алгебраическую сумму отраженного зондирующего сигнала с нескольких участков сети доступа [5];

- источники мощных зондирующих импульсов имеют ресурс, недостаточный для длительного непрерывного контроля ВОЛС;

- специализированные источники зондирующего оптического излучения, широкополосная и быстродействующая аппаратура приемного блока рефлектометров увеличивают стоимость СДС.

Вне зависимости от способа анализа оптического излучения, мониторинг может производиться как в отношении ОВ, по которому непосредственно передается информация, так и специального ОВ (оптического датчика), входящего в состав защитных элементов. Во втором случае в состав кабеля кроме основных волокон входят специальные, с повышенной чувствительностью ко внешним воздействиям. По ним производится передача контрольных сигналов, что повышает надежность и стоимость технологии. Оптические кабели такого типа получили условное название «Панда».

После фиксации изменения состояния ВОЛС данные из СДС передаются в модуль анализа, который отвечает за накопление и обработку данных. Изменение значения контролируемого параметра является условием для проведения анализа и принятия решения о причинах его возникновения. На основании выявленных причин отдаются соответствующие команды (например, прекратить передачу информации и подать сигнал тревоги).

Комплекс мониторинга несанкционированных подключений должен решать задачи контроля технического состояния и мониторинга ВОЛС в реальном масштабе, без прекращения передачи информации в момент диагностики.

В качестве последних тенденций для более точного обнаружения несанкционированного подключения предложена система анализа на основе нейронной сети. Вычислительная сеть суммирует и сортирует данные, полученные разными способами диагностики, проводит анализ,

идентифицирует и выдает точную информацию о причинах изменения состояния ВОЛС и наиболее вероятных атаках для модельной сети. Что позволяет повысить эффективность системы за счет более глубокого анализа и снижения вероятности ложных срабатываний.

#### Литература

1. Глуценко А., Глуценко Л. Оценка защищенности информации, циркулирующей в ВОЛП [Электронный ресурс]. URL:[http://www.photonics.su/files/article\\_pdf/2/article\\_2521\\_769.pdf](http://www.photonics.su/files/article_pdf/2/article_2521_769.pdf) htm (дата обращения: 20.12.2018)
2. Рахимов Н.Р. Рефлектометрический метод определения каналов утечки информации в волоконно-оптических линиях связи [Электронный ресурс]. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/reflektometricheskiy-metod-opredeleniya-kanalov-utechki-informatsii-v-voikonno-opticheskikh-liniyah-svyazi/viewer> (дата обращения: 20.12.2019)
3. Утечка информации в волоконно-оптических линиях связи [Электронный ресурс]. URL: <https://poznayka.org/s106930t1.html> (дата обращения: 15.01.2020)
4. Свинцов А.Г. Оптимизация параметров оптического рефлектометра для обнаружения неоднородности при попытке несанкционированного доступа в ВОСП [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20204717> (дата обращения: 25.01.2020)
5. Алексеев Е.Б., Булавкин И.А., Попов А.Г., Попов В.И. Пассивные волоконно-оптические сети проектирование, оптимизация сетей и обнаружение несанкционированного доступа [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.b-ok.org/book/3109463/ae5802> (дата обращения: 02.01.2019).

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО КАНАЛА ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДОСТУПА НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ),

г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет (ОмГТУ), г. Омск, Россия

*Ключевые слова:* показатели надежности, физический канал, сеть доступа, рассеяние Мандельштама–Бриллюэна, рефлектометрия, модуль Юнга.

В докладе рассмотрены проблемы и методы измерения деформации оптического волокна, базирующие на использовании рассеяния Мандельштама–Бриллюэна (рассеяния на акустических фононах). Анализ данных, полученных с помощью бриллюэновского рефлектометра, позволяет эксплуатирующим организациям с большой точностью определить местоположение участка кабельной линии с нагруженными волокнами, оценить уровень их напряжений, спрогнозировать наработку до разрушения и своевременно выявить области риска.

<sup>1</sup>N.I. Gorlov, <sup>2</sup>I.V. Bogachkov

## FORECASTING OF RELIABILITY INDICATORS OF THE PHYSICAL CHANNEL OF OPTICAL ACCESS NETWORKS BY NON-DESTRUCTIVE METHODS

<sup>1</sup>The Siberian state University of telecommunications and Informatics (SibGUTI)

Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Omsk state technical University (OmGTU), Omsk, Russia

*Keyword:* reliability indicators, physical channel, access network, Mandelstam–Brillouin scattering, reflectometry, young's modulus.

The report considers problems and methods of measuring optical fiber deformation based on the use of Mandelstam–Brillouin scattering (scattering on acoustic phonons). Analysis of data obtained using Brillouin reflectometer allows operating organizations to determine the location of a cable line section with loaded fibers with high accuracy, assess the level of their stresses, predict the operating time before failure and timely identify areas of risk.

Для обеспечения многолетней работы физического канала оптических сетей доступа необходимо обеспечить отсутствие механических натяжений в оптическом волокне (ОВ). Даже незначительное натяжение ОВ может привести к многократному уменьшению его срока службы, поэтому для оценки надёжности необходима информация о натяжении ОВ в кабеле. Можно выделить три диапазона линейных деформаций ОВ: безопасные – до 0,3 %, опасные от 0,3 % до 0,6 % и недопустимые – более 0,6 %. Из сказанного следует вывод о необходимости построения измерительной базы для контроля деформаций ОВ с целью обеспечения надёжной эксплуатации средств волоконно-оптической связи. Наиболее востребованными задачами являются исследования полей деформаций (механических напряжений) и температуры [1].

Принципы измерения деформации ОВ базируются на использовании целого ряда физических эффектов. Однако наибольший практический интерес вызывают измерители, построенные на использовании рассеяния Мандельштама–Бриллюэна (рассеяния на акустических фононах). Метод бриллюэновской рефлектометрии обладает двумя основными преимуществами. Во-первых, это практически единственный оптический метод, позволяющий измерить величину абсолютного натяжения волокна. Для этого достаточно измерить частоту максимального сигнала в спектре бриллюэновского рассеяния и при этом нет необходимости подвергать волокно дополнительному растяжению. В других же известных оптических методах измеряется величина удлинения волокна, возникающего при создании в волокне

дополнительного натяжения, что делает эти методы непригодными для определения натяжения волокна, уложенного в линию передачи. Во-вторых, бриллюэновское рассеяние приводит к образованию обратной волны в волокне. Поэтому, зондируя волокно короткими импульсами и сканируя несущую частоту этих импульсов, можно найти распределение вдоль волокна спектра бриллюэновского рассеяния и, соответственно, частоты максимального сигнала в этом спектре. А, так как эта частота пропорциональна величине натяжения в волокне, то таким образом находится распределение этого натяжения вдоль волокна [2].

В спектре обратной волны в волокне кроме несмещенной по частоте компоненты, обусловленной релеевским рассеянием света, присутствуют также спектральные компоненты, вызванные бриллюэновским и рамановским рассеянием света. При бриллюэновском и рамановском рассеянии частота рассеянного света меняется, так как рассеяние происходит на переменных во времени флуктуациях показателя преломления (вызванных, соответственно, тепловыми колебаниями плотности среды и внутримолекулярными колебаниями). При релеевском рассеянии свет рассеивается на замороженных в волокне флуктуациях показателя преломления, и поэтому частота рассеянного света не меняется. (рисунок 1).

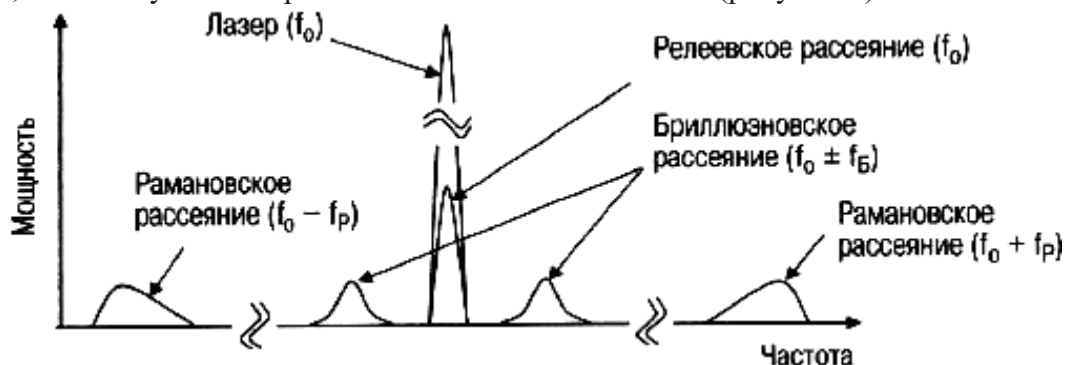


Рис. 1 - Спектр рассеянного в волокне света ( $f_B \sim 10 \dots 11$  ГГц,  $f_p \sim 13$  ТГц)

При мощности импульсов света менее 25...30 дБм, релеевское рассеяние дает основной вклад в мощность обратной волны. Для сравнения, коэффициент спонтанного бриллюэновского рассеяния  $\alpha_B \cong 0.03/\lambda^4$  примерно на 14 дБ меньше коэффициента релеевского рассеяния  $\alpha_0 \cong 0.75/\lambda^4$ , где  $\lambda$  – длина волны излучения в мкм [1]. При достижении порогового значения ( $\sim 5$  дБм при непрерывной накачке) зависимость отраженной мощности от мощности накачки становится нелинейной. При пороговой мощности накачки вклад от SBS рассеяния становится сравнимым с релеевским рассеянием. При увеличении мощности накачки в несколько раз почти вся мощность отражается от волокна.

Более слабые спектральные компоненты, обусловленные спонтанным бриллюэновским рассеянием света (SPBS – Spontaneous Brillouin Scattering), могут быть выделены с помощью оптического фильтра, так как они достаточно далеко разнесены по частоте.

Пороговую величину мощности можно увеличить, уменьшая эффективную длину взаимодействия световой волны с акустической волной. Для одиночного импульса эффективная длина равна половине длины импульса [3]:

$$L_{\text{Э}} = L_{\text{И}} = \frac{c \cdot \tau}{2 \cdot n}, \quad (1)$$

где

$\tau$  – длительность импульса;

$c$  – скорость света в вакууме;

$n = 1,5$  – групповой показатель преломления волокна.

Для типичного значения  $\tau = 1$  мкс получаем  $L_{\text{Э}} = L_{\text{И}} = 0.1$  км, что примерно на два порядка меньше значения эффективной длины взаимодействия ( $L_{\text{Э}} = 20$  км) для узкополосного источника излучения.

Спектральные компоненты, обусловленные бриллюэновским рассеянием света, обладают тем важным для практических применений свойством, что их частота смещена на величину

пропорциональную натяжению (относительному удлинению  $\varepsilon$ ) волокна. Для стандартного одномодового волокна (SMF) измеренное значение коэффициента равно:

$$K = (f_B - f_{B0})/\varepsilon, \quad (2)$$

где

$f_B$  – смещение частоты при регистрации натяжения волокна (частота бриллюэновского частотного сдвига);

$f_{B0}$  – смещение частоты в отсутствии натяжения волокна;

$\varepsilon$  – относительное удлинение ОВ.

Тепловые колебания плотности среды можно рассматривать как совокупность упругих волн, распространяющихся в среде по всевозможным направлениям и обладающих всевозможными частотами. Каждая плоская звуковая волна подобна дифракционной решетке, т.к. в местах повышенной плотности показатель преломления среды больше, чем в местах разрежения.

Для световой волны длиной  $\lambda$  всегда найдется решетка с подходящим периодом, обеспечивающим максимальное отражение света в обратном направлении. Длина соответствующей звуковой волны определяется условием Брэгга-Вульфа:  $\Lambda = \lambda/2$ . В волокне бриллюэновское рассеяние наблюдается только назад (частотный сдвиг между накачкой и волной рассеянной в прямом направлении равен нулю). Волна, отраженная от такой движущейся дифракционной решетки, в силу эффекта Доплера будет смещена по частоте на величину:

$$f_B = \frac{2 \cdot n \cdot V_A}{\lambda}, \quad (3)$$

где

$n$  – коэффициент преломления ОВ;

$V_A \approx 5,7$  км/с – скорость акустической волны в ОВ;

$\lambda$  – длина волны падающего света.

На длине волны  $\lambda = 1550$  нм смещение частоты  $f_B = 10,7$  ГГц.

От натяжения волокна зависит величина скорости звука  $V_A$  и показатель преломления  $n$ . В свою очередь формула скорости звука в ОВ имеет вид:

$$V_A = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (4)$$

где

$E$  – модуль Юнга, при растяжении равный для кварцевого стекла  $E = 72$  ГПа =  $7,2 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;

$\rho = 2201$  кг/м<sup>3</sup> – плотность кварцевого стекла.

#### Литература

1. Акопов С.Г., Васильев Н.А., Поляков М.А. Использование бриллюэновского рефлектометра при испытаниях оптического кабеля на растяжение // Lightwave Russian Edition, 2006. №1. С. 23 – 25.
2. Авдеев Б.В., Барышников Е.Н., Длютров О.В., Стародубцев И.И. Изменение избыточной длины в процессе изготовления ВОК // Кабели и провода, 2002. №3(274). С. 32 – 34.
3. Марьенков А.А., Гринштейн М.Л., Каменская Е.А., Деков В.Н. Измерение удлинения оптического волокна при испытании оптического кабеля на стойкость к растягивающей нагрузке // Lightwave Russian Edition, 2003. №2. С. 38 – 41.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ФАЙЛОВОГО СЕРВЕРА

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

Ключевые слова: Windows Server, FTP-сервер, Организация сервера, Виды серверов.

Архитектуры вида «клиент-сервер» широко распространены в настоящее время. Они могут изготавливаться в виде отдельных компонентов, аппаратных решений и в виде серверных решений, которые предлагают более удобное управление всеми услугами и сервисами. В интернете наиболее распространены файловые и WEB-сервера. Поэтому в данной работе был рассмотрен пример организации файлового сервера на Windows Server.

D.A. Trofimov, V.S. Kutenin

## FILE SERVER ORGANIZATION

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: Windows Server, FTP-server, server organization, types of servers.

Client-server architectures are widely used today. They can be made in the form of separate components, hardware solutions and in the form of server solutions that offer more convenient management of all services and services. The most common file and web servers on the Internet. Because, in this work, we considered an example of organizing a file server on Windows Server.

В настоящее время всё большую популярность набирают «клиент-серверные» архитектуры. Практически любая организация в определённую стадию своего развития будет нуждаться в установке сервера, который позволяет выполнять ряд функций, которые необходимы для деятельности компании. Сервера могут изготавливаться в виде аппаратных средств или же являться программными компонентами. Аппаратные средства включают в себя специальный компьютер или другое аппаратное обеспечение, которое выполняет серверные функции и задачи для поддержания услуг. [1]

Под понятием сервера, как программного средства, понимается компонент системы, который выполняет функции по запросам клиента и предоставляя ему определённым услугам и ресурсам. Пример подключения к различным видам серверов изображён на рисунке 1. [2]



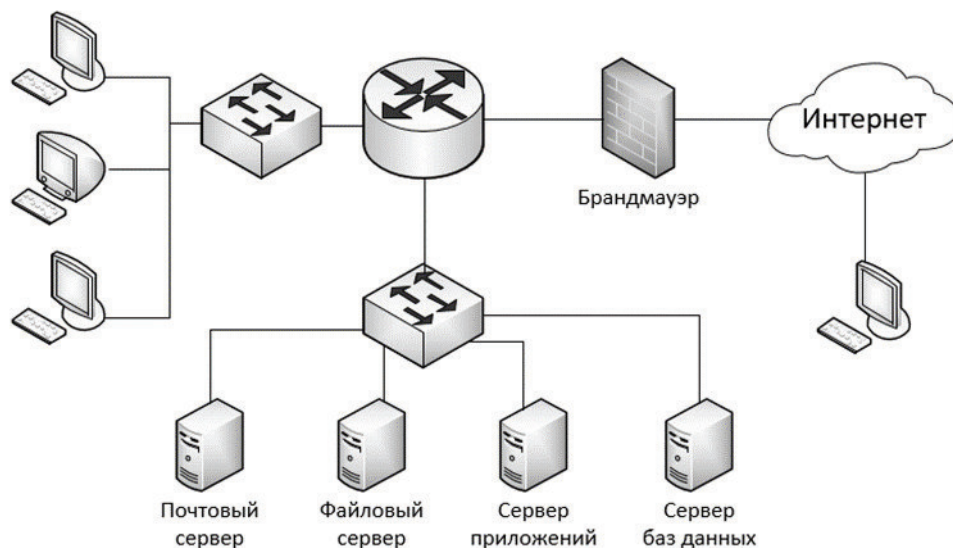


Рис. 1. Пример схемы реализации сети с различными серверами.

По назначению, ролям и функциям различают несколько видов серверов. [3]

Прокси-сервер обеспечивает безопасный доступ в интернет для всех или группы людей. Такой шлюз должен быть производительным и отказоустойчивым.

Сервер электронной почты необходим для работы почтовых приложений, внутреннего документооборота, переписки и внешних отправлений.

Современный бизнес связан с работой WEB-служб, многие компании имеют свои сайты, поэтому данный вид серверов должен обеспечить отказоустойчивость и доступность, а также обладать высокой производительностью.

Терминальный сервер обеспечивает работу удалённых пользователей через выделенные каналы или сеть Интернет. Должен обеспечивать шифрование и безопасность доступа к ресурсам.

Файловый сервер предназначен для хранения данных пользователя.

Разновидностью файловых серверов является FTP-сервер. Это серверы, использующие протокол FTP для доступа к файлам, является наиболее встречаемым в Интернете. Простейшая схема подключения изображена на рисунке 2.

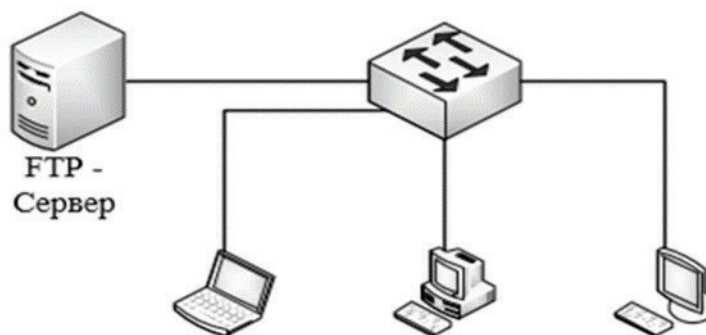


Рис. 2. Схема подключения к FTP-серверу.

Сервер баз данных должен предоставить доступ к базам данных.

Серверу приложений характерны большие возможности для обработки информации. А взаимодействие «сервер-клиент» подобно работе простого приложения. Часто предлагается, как комплексного решения, содержащее все необходимые компоненты.

Брандмауэры (Firewall) являются экраном для защиты от вредоносных воздействий. В основном пропускает исходящий трафик и анализирует входящий. Брандмауэром может являться прокси-сервер при правильной настройке.

Серверы DHCP назначают другим компьютерам адреса, которые присваиваются автоматически. Удобно при расширении сети.

Сервера печати позволяют ставить в очередь документы от одного или нескольких ПК, находящихся в сети, и передавать их на печатающее устройство.

В настоящее время так получили популярность домашние сервера. Пользователи имеют доступ к данным на общем диске, принтерам, а также использовать общий канал Интернета. А при необходимости обеспечить удалённый доступ.

Однако использовать отдельные сервера не всегда удобно и актуально. Поэтому были придуманы серверные решения, которые часто представлены в виде пакетов программ и серверных операционных систем, которые оптимизированы под выполнение функций сервера или набора сервисов на компьютерах.

Серверные операционные системы, в отличие от обычных ОС, позволяют облегчить доступ к настройкам и запуску серверов. В качестве такой системы могут выбраны Windows Server и серверные UNIX-системы.

Рассмотрим серверные решения на примере Windows Server 2016 при реализации FTP-сервера. [4] В нём существуют «компоненты» и «роли».

«Роли» показывают то, для чего он нужен – назначение сервера. Они представляют собой программное обеспечение, чтобы сервер выполнял свою функцию. В свою роль компоненты являются программными средствами, которые служат для расширения возможностей ролей.

В качестве роли FTP-сервера, который обеспечивает поддержку протокола для передачи файлов (FTP), в Windows Server выступает служба Web-FTP-Server – он добавляет на WEB-сервер поддержку протокола FTP. Также присутствует возможность расширения FTP (Web-FTP-Ext), например, настраиваемые поставщики, пользователи диспетчера IIS и так далее.

Пример установки FTP-сервера в графическом варианте Windows Server.

Открыть «Диспетчер серверов». Затем запустить «Мастер добавления ролей и компонентов». В меню выбрать «Управление». После этого в нём выбрать «Добавить роли и компоненты». Нажать «Далее». Выбрать тип установки в «Установка ролей или компонентов». Нажать «Далее». Затем выбирать целевой сервер и нажимаем далее. Отметить роль «Веб-сервер (IIS)». Также соглашаемся на добавление «Консоль управления службами IIS». Нажать «Добавить компоненты». Эти средства нужны для администрирования FTP-сервера. Нажать далее, так как другие компоненты не понадобятся.

При выборе служб роли убрать все отметки кроме «Консоль управления службами IIS» и «Служба FTP», нажать «Далее». Проверить параметры. Нажать «Установить». Нажать «Заккрыть» при завершении. Перезагрузить сервер.

Чтобы начать полноценно пользоваться сервером, его необходимо настроить. Для этого необходимо создать пользователя или группу пользователей с возможностью добавления, которые будут иметь доступ к подключению.

Создать пользователя. Для этого необходимо перейти в «Диспетчер серверов», выбрать «Средства», запустить оснастку «Управление компьютером». В ней открыть пункт «Локальные пользователи и группы». Нажать на него правой кнопкой мыши и выбрать «Новый пользователь». Заполнить необходимые поля. Нажать «Создать».

Затем необходимо настроить каталоги, так как по умолчанию используется корневой каталог – «C:\user\ftproot». В нём создать новый каталог с учётом регистра. Открыть «Диспетчер служб IIS».

Нажимать правой кнопкой мыши на «Сайты», а затем «Добавить FTP-сайт» в окне «Подключения». Ввести название сайта и указать каталог.

На следующем шаге выбрать IP-адрес, например, из выпадающего списка или выбрать «Все свободные». Здесь же будет возможность выбора SSL.

Следующим шагом выбрать пользователей или группу и проверку подлинности. Кроме этого, сервер позволяет настроить изоляцию пользователей. Для этого на начальной странице сайта нажать на пункт «Изоляция пользователей». Отметить пункт «Каталог имени пользователя (отключить глобальные виртуальные каталоги)» и нажать «Применить».

Попробовать подключиться.

На этом настройка завершена.

В качестве простейшего приложения для доступа к серверу может быть WEB-браузер, однако, он не даёт достаточной гибкости для управления файлами, поэтому, чаще всего, используются специальные приложения. Одним из них является стандартный «Проводник» Windows 10. Процесс подключения происходит через добавление нового сетевого расположения. Например, для FTP-сервера Yandex с дистрибутивами операционных систем Linux, необходимо ввести адрес: <ftp://mirror.yandex.ru/>, а пользователя можно оставить анонимным.

В данной статье были описаны различия серверов в виде аппаратного обеспечения и программных средств, рассмотрены их основные виды и описан пример настройки FTP-сервера с использованием «Windows Server 2016». А также пример подключения к FTP-серверу через «Проводник» Windows 10.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Сервер\\_\(программное\\_обеспечение\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сервер_(программное_обеспечение)) - Сервер (аппаратное обеспечение).
2. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сервер\\_\(аппаратное\\_обеспечение\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сервер_(аппаратное_обеспечение)) – Сервер (аппаратное обеспечение).
3. <http://www.compline-ufa.ru/tipi-serverov-klassifitatsiya> - Серверы: типы серверов, классификация.
4. [https://info-comp.ru/sisadminst/559-install-and-configure-ftp-server-windows -server.html](https://info-comp.ru/sisadminst/559-install-and-configure-ftp-server-windows-server.html) - Установка и настройка FTP сервера на Windows Server 2016.

Г.А. Красулин, Н.В. Будылдина

## СЕТИ SDN

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

Ключевые слова: Сети (Software Defined Networks), архитектура сети, открытая платформа, OpenFlow, программное обеспечение.

В настоящее время все большее развитие получают SDN-сети (Software-defined Networking), позволяющие динамически регулировать ситуацию на сети, легко масштабировать и реконфигурировать сети, создавать собственные протоколы и приложения. С развитием SDN возникают не только новые возможности, но и новые задачи, ожидающие решения. В статье определяется производительность узлов вычислительного кластера с использованием протокола OpenFlow и без него. Производится установка контроллера FloodLight, развёртывание вычислительного кластера средствами платформы OpenNebula. Подсчитывается объём трафика, который был сгенерирован, а также средняя скорость передачи информации между узлами кластера.

G.A. Krasulin, N.V. Budyldina

## SDN NETWORKS

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

Keywords: Networks (Software Defined Networks), network architecture, open platform, OpenFlow, software.

Currently, SDN-networks (Software-defined Networking,) are getting more and more development, allowing you to dynamically adjust the situation on the network, easily scale and reconfigure the network, create your own protocols and applications. With the development of SDN, not only new opportunities arise, but also new tasks that are pending. The article determines the performance of nodes of a computing cluster using the OpenFlow protocol and without it. The FloodLight controller is being installed, the computing cluster is being deployed using the OpenNebula platform tools. The volume of traffic that was generated, as well as the average speed of information transfer between cluster nodes, is calculated.

### Введение

Скачок в развитии высокоскоростных технологий передачи данных и вычислительных мощностей дали толчок к развитию облачных технологий. Однако на сегодняшний день устаревшие сетевые технологии не только усложняют обслуживание и тормозят рост сервисов на базе облака, но и являются «бутылочным горлышком» для центров обработки данных (ЦОД), Сетей хранения данных (СХД) и массовых пользователей сетью интернет. Большинство ключевых протоколов были разработаны на заре становления Интернета и Ethernet технологий. Тогда было невозможно предвидеть скорости и объёмы передаваемых данных, достигнутых сегодня. Объём трафика и его виды растут в геометрической прогрессии.

## Теоретическая часть

Начнём с самого главного - с определения облачных вычислений.

Облачные вычисления – это модель предоставления удобного сетевого доступа к совместно используемому набору настраиваемых вычислительных ресурсов (серверам, приложениям, устройствам хранения данных и сетям передачи данных— как вместе, так и по отдельности), которые потребитель может легко задействовать в любом объёме для удовлетворения своих потребностей. Главная цель, которую преследуют облачные вычисления — это повышение доступности вычислительных ресурсов. На основании этой цели выделяют три модели обслуживания. [1]

Модели обслуживания:

- SaaS (Software as a Service) - ПО как услуга;
- PaaS (Platform as a Service) - Платформа как услуга;
- IaaS (Infrastructure as a Service) - Инфраструктура как услуга. [2]

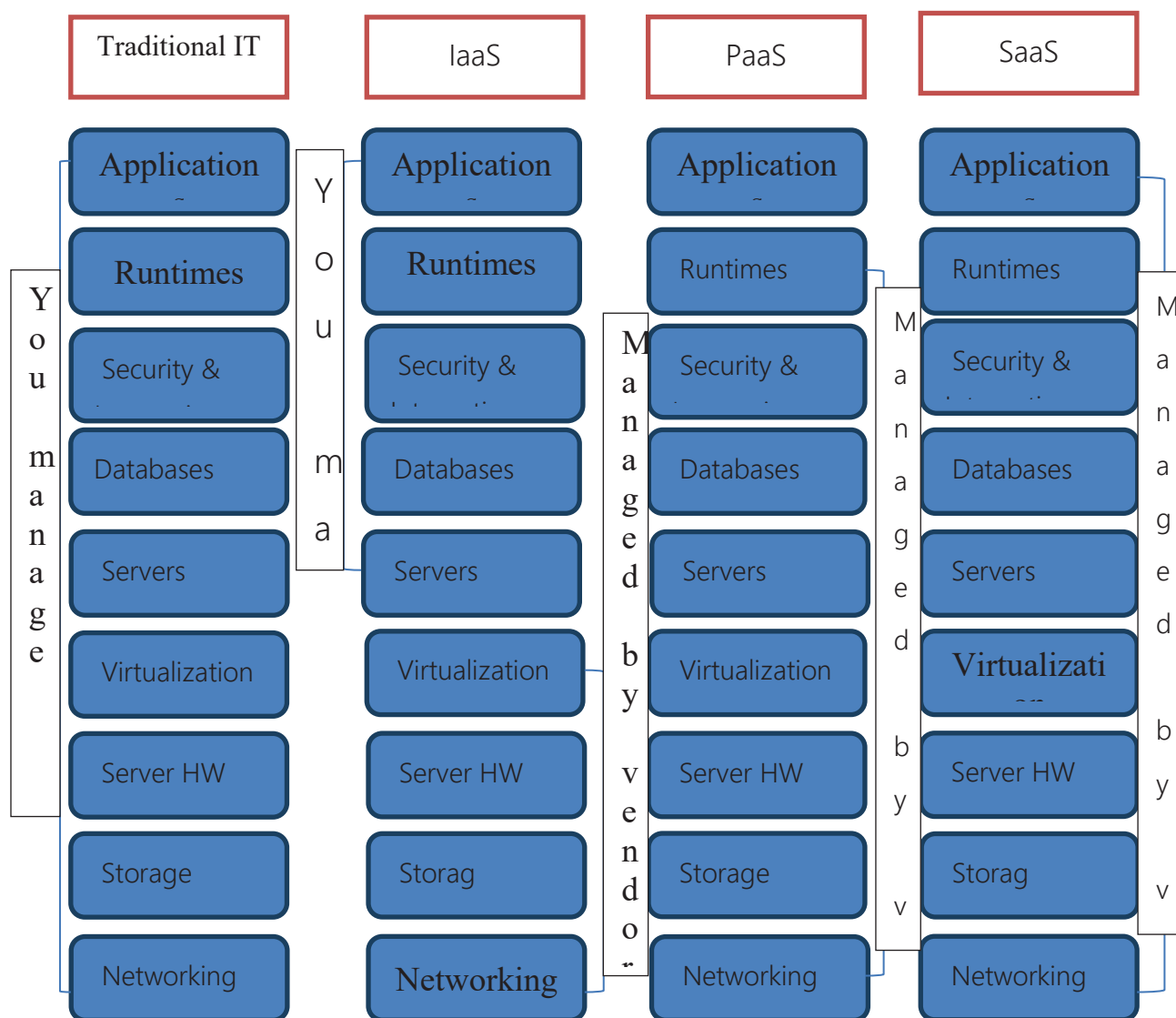


Рис. 1 - Сравнительная характеристика моделей обслуживания

В данной работе будет рассмотрена только третья модель обслуживания. Инфраструктура как услуга (IaaS) - предоставление вычислительных ресурсов, на которых потребитель может развернуть и запустить необходимое ему ПО, включающее в себя операционные системы и приложения. В рамках данной модели потребитель не управляет и не контролирует лежащую в основе физическую инфраструктуру.

Программно-конфигурируемые Сети (Software Defined Networks) - это активно развивающаяся архитектура сети, в которой функция управления сетью полностью программируема, а также разделена с функцией передачи данных. Основной целью SDN является возможность управления маршрутизаторами и коммутаторами, не изменяя существующего сетевого оборудования. Это достигается за счёт внедрения специального программного обеспечения (FloodLight, NOX, POX), которое работает на отдельном компьютере, под контролем администратора сети.

Протокол OpenFlow позволяет управлять сетевыми коммутаторами и маршрутизаторами, благодаря чему специалисты тратят меньше времени на начальные настройки сети. Протокол OpenFlow решает также проблему зависимости от сетевого оборудования какого-либо конкретного поставщика, поскольку SDN использует общие абстракции для пересылки пакетов, которые сетевая операционная система использует для управления сетевыми коммутаторами. [3]

В архитектуре SDN выделяют три уровня:

- инфраструктурный уровень;
- уровень управления;
- уровень сетевых приложений.

OpenNebula - открытая платформа, позволяющая организовать управление cloud-инфраструктурой и виртуальным окружением. Доступно взаимодействие таких атрибутов, как сеть, хранилище, технология виртуализации, средства мониторинга, средства безопасности. [2]



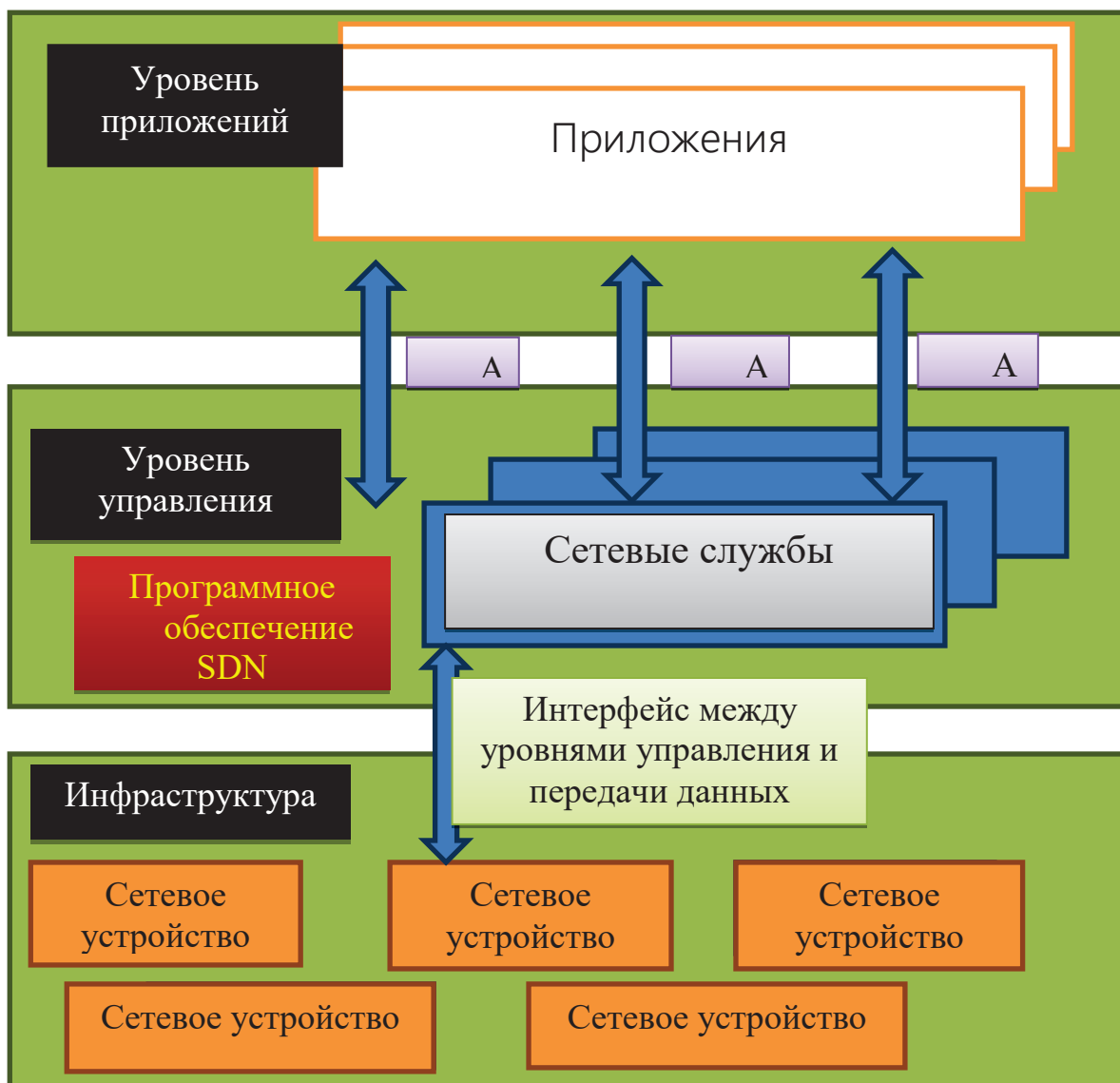


Рис. 2 - Архитектура SDN сети

Система позволяет создавать Cloud-окружения трех типов:

- частные Cloud-системы, доступны только внутри организации, выполнены на собственных мощностях [4];
- публичные Cloud-системы, работающие в инфраструктуре внешних сервисов. Для доступа используются различные API (OGF OCCI, vCloud);
- гибридные Cloud-системы, сочетают в себе элементы частных и публичных cloud-систем.

В данной работе будет создаваться Cloud-окружение первого типа.

Реализационная часть

Для исследования поведения пакетов было решено построить экспериментальный сегмент сети в составе:

- коммутатор OpenFlow HP 3500u1;
- 7 серверов:
  1. Server - центральный сервер (Xeon E5645 2,4ГГц, ОЗУ 32ГБ).
  2. Node-1 и Node-2 (Xeon E5645 2,4ГГц, ОЗУ 32ГБ).
  3. Node-3 и Node-4 (Core i5 2400 3ГГц, ОЗУ 32ГБ).
  4. Node-5 и Node-6 (Core i5 2320 3ГГц, ОЗУ 32ГБ).

- каналы связи между узлами сети 1000Мб/сек.

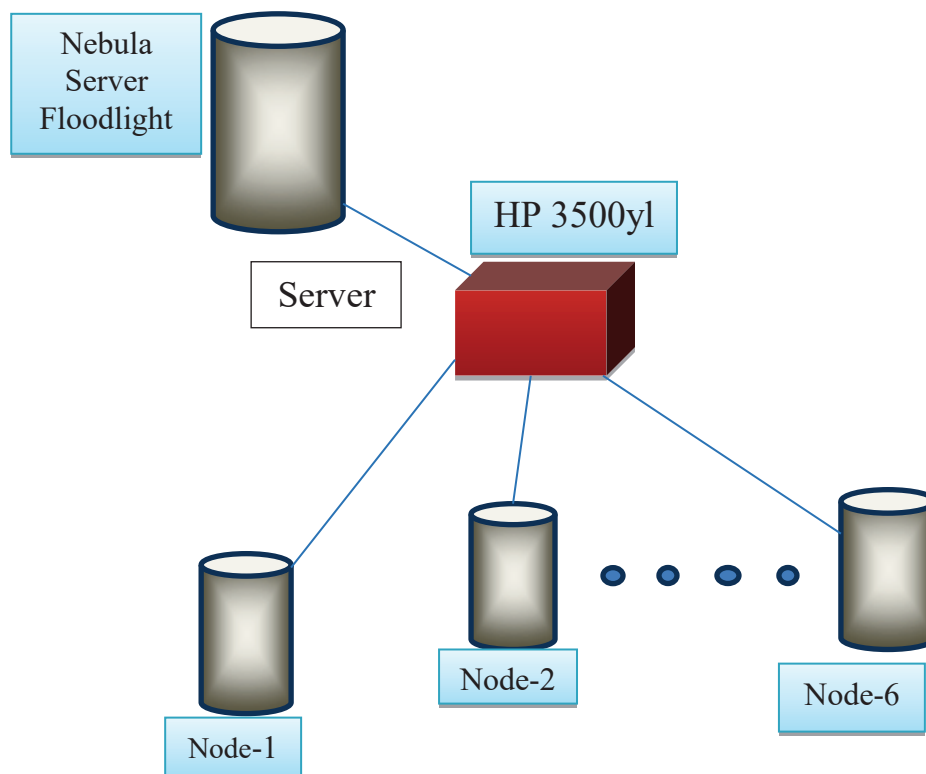


Рис. 3 - Экспериментальный сегмент сети

Для начала нам необходимо установить контроллер FloodLight на Server.

FloodLight написан на Java и, следовательно, работает в JVM. Перед установкой контроллера сначала потребуется установить, необходимые для работы, библиотеки:

1) JDK (Java Development Kit) — бесплатно распространяемый компанией Oracle Corporation (ранее Sun Microsystems) комплект разработчика приложений на языке Java, включающий в себя компилятор Java (javac), стандартные библиотеки классов Java, примеры, документацию, различные утилиты и исполнительную систему Java (JRE) [5];

2) Ant - утилита для автоматизации процесса сборки программного продукта, является платформо-независимым аналогом утилиты make.

Для установки контроллера необходимо выполнить следующие команды:

а) команду «`sudo apt-get install build-essential default-jdk ant python-dev git`», с помощью этой команды устанавливаем необходимые библиотеки и утилиты;

б) команду «`git clone git://github.com/floodlight/floodlight.git && cd floodlight && ant`», для загрузки ветки из git, и выполнения сборки проекта.

Результатом сборки стал исполняемый jar файл floodlight.jar. Запустить контроллер можно командой «`java -jartarget/floodlight.jar`»

Далее требуется установить платформу OpenNebula, благодаря которой возможно развернуть виртуальный вычислительный кластер.

Установку OpenNebula осуществляем с помощью утилиты «`sudo dpkg -i Ubuntu-12.04-openebula_x.x.x_amd64.deb`». В процессе установки создаётся учётная запись пользователя и группа `oneadmin` с домашним каталогом `/var/lib/one/`. Установка на управляемые хосты производится таким же образом. Настройки OpenNebula Sunstone располагаются в файле `/etc/one/sunstone-server.conf`. Далее запускаем сервис командой «`oneadmin$ sunstone-server start`» [1].

В результате установки OpenNebula мы имеем вычислительный кластер.

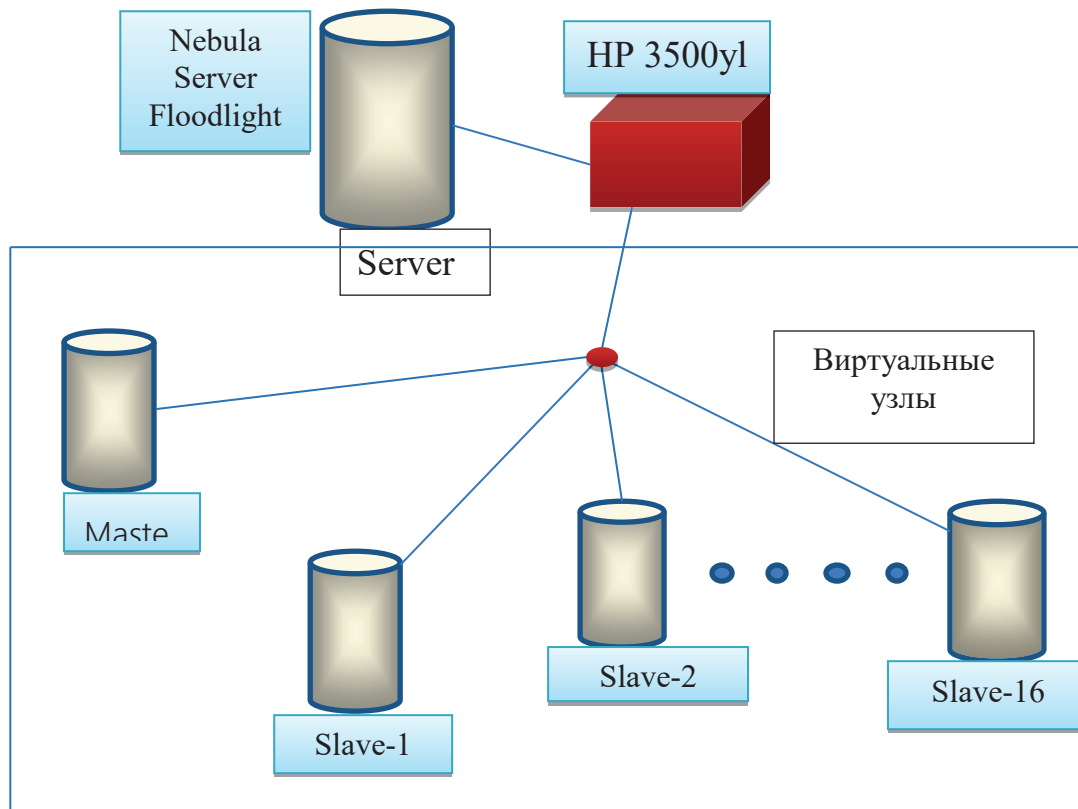


Рис. 4 - Виртуальный вычислительный кластер  
Экспериментальная часть

Генерацию трафика и запись лога между узлами будет осуществлять с помощью утилиты iperf. Размер генерируемых пакета по умолчанию 1500 байта. С каждого узла идет по 4 потока на порты узла Master: 80, 443, 145 и 137. Так же трафик генерируется между узлами Slave в один поток на порт 137.

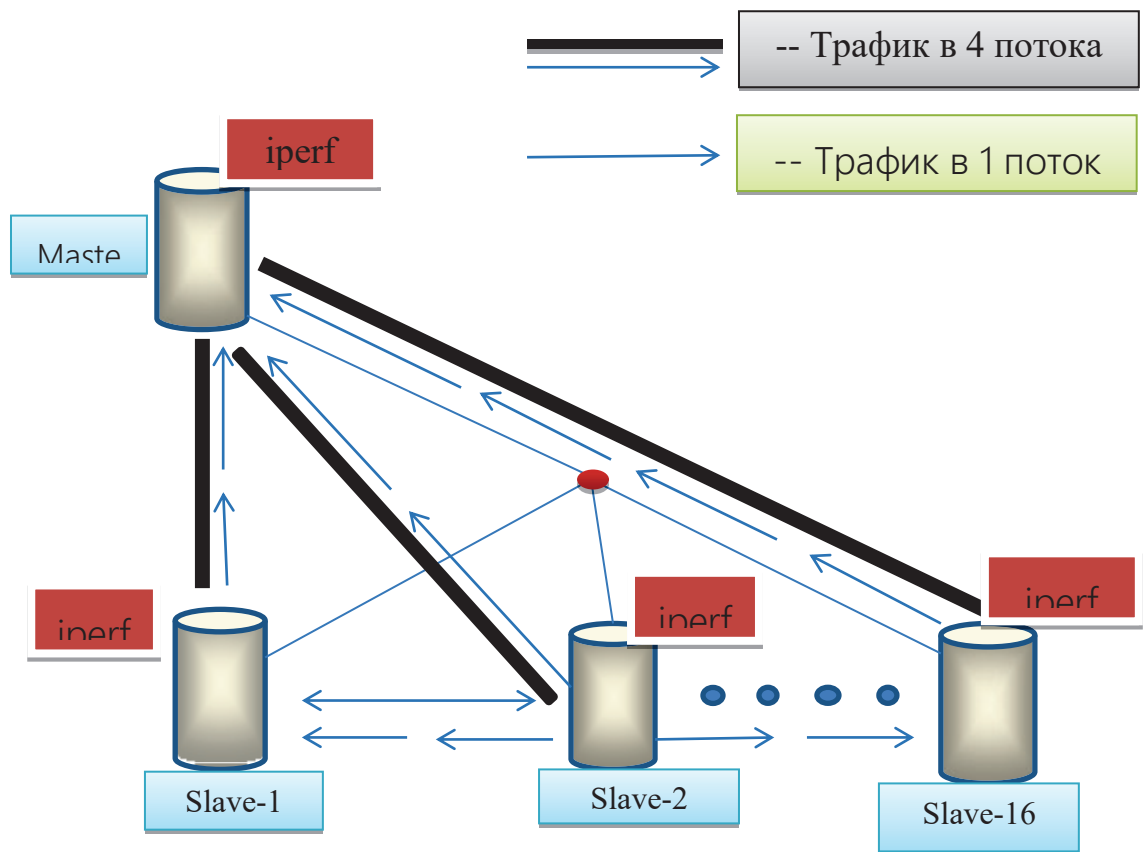


Рис. 5 - Направление потока данных

Для автоматизации процесса запуска генерации трафика, был написан bash скрипт.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

№ Узла	С протоколом	OpenFlow	Без протокола	OpenFlow
	Σ Объём данных(Мб)	Ср.скорость (Мб/с)	Σ Объём данных(Мб)	Ср.скорость (Мб/с)
1.	58,12	5,13	1241	34,18
2.	561,48	35,94	1491,5	31,07
3.	57,45	3,01	2349,8	39,25
4.	838,78	33,38	2741,6	38,74
5.	1648,47	40,51	3036,3	36,19
6.	727,39	17,86	1920,65	20,01
7.	993,89	27,67	3254,88	33,13
8.	934,48	26,98	2938,14	32,68
9.	648,42	27,18	2900,35	33,62
10.	327,21	12,27	1851,75	21,11
11.	279,95	12,91	1863,03	21,88
12.	598,61	31,30	2909,21	34,73
13.	343,39	41,12	2942,78	32,35
14.	307,94	42,84	2898,92	32,28
15.	50,08	8,19	1853,84	22,09
16.	187,77	31,30	1915,66	21,88
Сумма/Ср.знач.	8375,66	24,85	38109,41	30,32

Из полученных данных видим, что при использовании протокола OpenFlow объём сгенерированного трафика, а также средняя скорость передачи меньше чем без использования протокола. Утилита *iperf* генерирует трафик, тем самым максимально заполняет ширину полосы пропускания канала. С протоколом OpenFlow, утилита *iperf* создала много пустых отчет-файлов. После их обработки объём трафика получился 8,5ГБ, а без протокола 38ГБ. Это связано с производительностью коммутатора и контроллера OpenFlow. [6, 7]

Иначе говоря, OpenFlow только обеспечивает базовые функции управления аппаратным обеспечением - коммутаторами, но не программную начинку SDN. И хотя многие ведущие производители сетевого оборудования, и в первую очередь - производители коммутаторов, заявляют о своей поддержке OpenFlow, программный интерфейс от контроллера к приложениям либо вообще недоступен, либо является собственной разработкой производителя. Это, безусловно, не позволяет архитектуре SDN полностью раскрыть свой инновационный потенциал, поскольку делает невозможной разработку «сетевых мозгов», независимых от производителя контроллера.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *E. Haleplidis et al*, "Software-defined networking (SDN): Layers and architecture terminology", Jan. 2015, URL: <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7426.txt> (дата обращения 01.04.2018).
2. *Малахов С.В., Тарасов В.Н.* Исследование производительности контроллера в программно-конфигурируемых сетях // Инфокоммуникационные технологии 2014. № 3. С64-67.
3. *Турбов А.Ю., Пономарев Д.Ю.* Исследование распределения трафика в сетях SDN методом тензорного анализа. XIX Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники». Красноярск. -2016.-с. 551-554.
4. *Турбов А.Ю., Пономарев Д.Ю.* Исследование сетей SDN узловым методом// Материалы XIV международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире». Санкт-Петербург: «Стратегия будущего». - 2016. — с. 112-117.
5. *Гутковская О.Л., Пономарев Д.Ю.* Ортогональная модель сетей связи. XIX Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники». Красноярск. -2016. - с. 488-494.
6. *Иванов В. Г., Киреев С.Х., Лыжинкин К.В.* Применение методов искусственного интеллекта для обнаружения компьютерных атак // Труды ЦНИИС. Санкт-Петербургский филиал. 2017. Т. 1. № 4. С. 109-116.
7. *Yan Q. et al.* Software-defined networking (SDN) and distributed denial of service (DDoS) attacks in cloud computing environments: A survey, some research issues, and challenges //IEEE communications surveys & tutorials. - 2015. - Т. 18. - №. 1. - С. 602-622.

## НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТУДЕНЧЕСКОГО ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ В ХИИК

Хабаровский институт инфокоммуникаций (филиал) ФГБОУ ВО  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Хабаровск,  
Россия

Ключевые слова: звуковое вещание, студенческое радио, тракт формирования программы, тракт распределения программы.

В статье автор объясняет необходимость создания системы студенческого звукового вещания в учебном заведении, делится опытом работы студенческого радио в Хабаровском Институте Инфокоммуникаций, рассматривает некоторые технические аспекты, а также проблемы и перспективы студенческого радио.

S.A. Bezdverny

## SOME TECHNICAL ASPECTS OF STUDENT EDUCATION SOUND BROADCASTING IN HIIC

The Khabarovsk Institute infocommunication (branch) FSBEI  
«Siberian state University of telecommunications and Informatics», Khabarovsk, Russia

Keywords: audio broadcasting, student radio, program formation path, program distribution path.

In the article the author explains the need to create a system of student audio broadcasting in an educational institution, shares the experience of student radio in the Khabarovsk Institute of Infocommunications, considers some technical aspects, as well as problems and prospects of student radio.

В течение последних четырёх лет, а именно с 11 ноября 2015-го во втором учебном корпусе Хабаровского института инфокоммуникаций осуществляет свою работу студенческое радио ХИИК.

Прежде всего, следует сказать о том, что термин «студенческое радио» является не совсем верным и точным (на самом деле в ХИИК осуществляется не радиовещание, а однопрограммное проводное вещание), но устоявшимся. Под термином «студенческое радио» в дальнейшем мы будем подразумевать «радиостанцию или радиопередачу, где студенческая молодежь является целевой аудиторией, что отражается в поставленных целях, задачах, формате, а также в тематическом наполнении» [1,3,4,6,7,8].

Прежде всего, студенческое радио дает возможность административным органам учебного заведения быстро довести: «необходимую важную информацию для учащихся и рабочего состава института, приносит разнообразие в студенческую жизнь, помогает студентам, расслабиться психологически и настроиться на дальнейшую трудовую деятельность» [2,5,9].

Работа на «Радио ХИИК» имеет большое воспитательное значение, как для студентов, так и педагогического состава. Кроме того, студенты знакомятся с технологией и оборудованием, предназначенным для подготовки программ звукового вещания. Остановимся более подробно на технических аспектах работы студенческого радио.

Канал звукового вещания, то есть путь, по которому сигнал звукового вещания проходит от источника до потребителя, в нашем случае содержит два тракта: тракт формирования программы (далее – ТФП) и тракт распределения программы (далее – ТРП).



Последний в ходе развития системы студенческого звукового вещания может быть разделён на тракт первичного распределения программы (далее – ТПП) (распределение контента между учебными корпусами) и тракт вторичного распределения программы (далее – ТВРП) (распределение контента непосредственно внутри учебного корпуса). Тракт приёма программы (далее – ТПП), а именно трансляционные громкоговорители, в данном случае, в отдельный тракт выделять не следует, так как за них также отвечают сотрудники студенческого радио.

В ТФП выполняется две функции:

- 1) Создание информационно-развлекательного контента для студентов и преподавателей (это тема отдельного исследования) творческими работниками радио;
- 2) Создание программы техническими работниками, включая запись, монтаж и осуществление потокового вещания (на этом аспекте в данной статье мы остановимся более подробно).

Функциональная схема соединения оборудования в ТФП показана на рисунке 1. Он состоит из одной студии и одной аппаратной. В студии расположены микрофон (МК) и мониторный громкоговоритель (монитор), предназначенный для контроля. Аналогичный монитор есть и в аппаратной. Довольно часто для мониторинга используются головные телефоны (наушники). Выход микрофона и вход громкоговорителя (головных телефонов) подключены к внешней звуковой карте «Roland TRI CAPTURE», которая расположена в аппаратной. Также источником входного сигнала является персональный компьютер (ПК), соединённый с аудиокартой через USB-интерфейс.

Первоначально студенческое радио не имело своей студии, и запись фрагментов программ велась из аппаратной, но затем в 2016-м году в препараторской лаборатории «Электроакустики и звукового вещания» была создана звукозаписывающая кабинка. Методик расчёта таких кабинок нет, поэтому при строительстве пришлось руководствоваться личным опытом звукорежиссёров, в том числе и местных – Хабаровских.

Каркас кабинки изготовлен из ДСП. Внутренние поверхности помещения покрыты акустическим изолофом. Сверху положена специальная ткань, а уже на неё - ковролин. Ковролин – это звукопоглощающий материал, используемый при изготовлении акустических систем. Им покрывают стенки ящиков громкоговорителей.

При выборе звукопоглощающих материалов также рассматривался вариант использования акустического поролона. С эстетической точки зрения акустический поролон смотрится лучше, но ковролин лучше по акустическим качествам, поэтому выбор был сделан в пользу последнего.

Как правило, вещание идёт в записи. Это вызвано тем, что в случае прямых эфиров во время перемены студенту требуется определённое время, чтобы добраться из аудитории до студии, а это неоправданно. Поэтому было решено составить сетку вещания и создавать плейлист на каждый день заранее. Во время работы радио на переменах звуковой сигнал поступает с выхода аудиокарты на два усилителя. Левый сигнал стереопары на левый усилитель L, а правый – соответственно на усилитель R. К выходу каждого усилителя подключена своя цепочка трансляционных громкоговорителей, находящихся в левом и правом крыле.

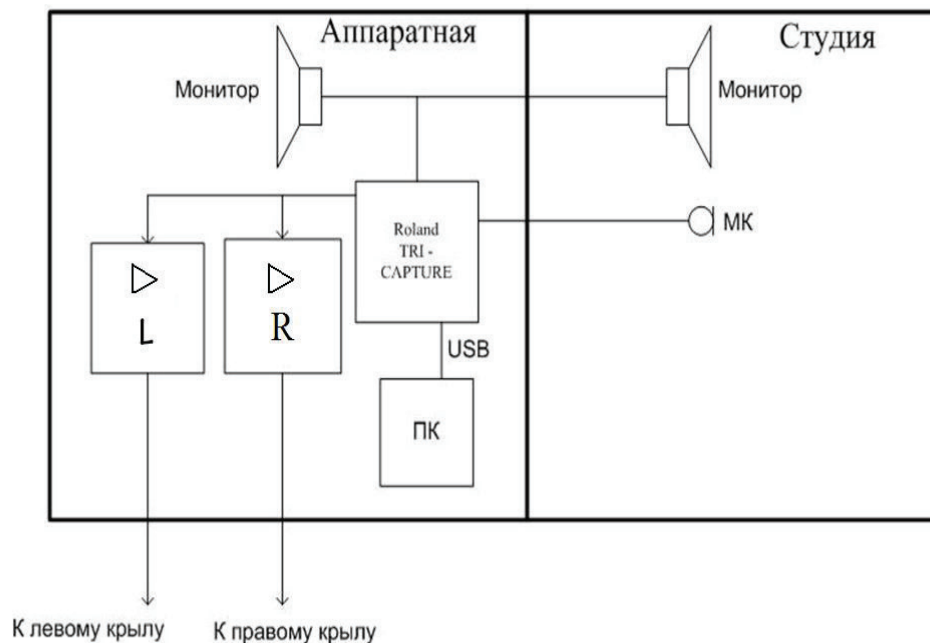


Рис. 1 - Функциональная схема взаимодействия оборудования в ТФП

Теперь поговорим о ТРП. Следует отметить, что в случае подключения трансляционных громкоговорителей их суммарная мощность должна быть не больше выходной мощности трансляционного усилителя, в отличие от подключения к усилителю, скажем, акустической системы, где всё должно быть с точностью до наоборот. Это позволяет в дальнейшем наращивать мощность системы. На момент написания статьи нами используются бестрансформаторные громкоговорители. Однако в ходе модернизации в скором времени они будут заменены на трансформаторные. В этом случае можно будет использовать трансформаторный выход трансляционного усилителя с напряжением 110 В.

Далее следует ответить на вопрос, почему при распределении программ выбор был сделан именно в пользу проводного вещания, а не вещания, скажем, в диапазоне метровых волн УКВ. Здесь дело не только в дороговизне соответствующего оборудования (радиопередатчика, передающей антенны и вспомогательной аппаратуры), но ещё и в том, что просто так начать вещание в эфир в данном диапазоне частот нельзя. Данный диапазон, как, впрочем, и все другие, разделён на определённые «куски». Каждый «кусочек» (поддиапазон) выделен для определённой службы. За этим следит радиочастотный центр. Для того, чтобы осуществлять УКВ-ЧМ вещание, нужно пройти огромное количество процедур: выиграть конкурс на использование радиочастоты, зарегистрировать радио, как СМИ, получить лицензию и так далее. Это весьма длительный и, как было сказано выше, дорогостоящий процесс. [11]

Кроме того, хотелось бы затронуть тему, касающуюся перспектив развития студенческого радио ХИИК. Как уже выше упоминалось, для уменьшения неравномерности уровней звукового давления внутри учебного корпуса, в ближайшее время старые разнотипные трансляционные громкоговорители будут заменены на новые однотипные. Кроме того, будем заменён один из трансляционных усилителей, выработавший свой срок. Кроме того, в планах запустить вещание не только во втором учебном корпусе, но и в двух общежитиях.

Таким образом, создание студенческого радио в учебном заведении имеет огромное воспитательное значение, позволяет его сотрудникам-студентам получить навыки по созданию программ звукового вещания, ознакомиться с технологией и оборудованием для производства соответствующего контента. Кроме того, это вносит разнообразие в студенческую жизнь и позволяет быстро донести нужную информацию. Для вещания в диапазоне метровых волн УКВ необходимо иметь большие финансовые средства, а также пройти огромное количество процедур. В связи с этим нами был сделан выбор в пользу системы проводного вещания с разводкой проводов по левому и правому крылу и подключения при их помощи трансляционных громкоговорителей к соответствующим усилителям. Также в процессе

развития была создана речевая радиовещательная студия. В перспективе планируется дальнейшая модернизация системы с заменой старых усилителей и трансляционных громкоговорителей на новые и с расширением сети проводного вещания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бездверный С.А.* Конспект лекций по дисциплине «Основы телекоммуникаций». Часть 1. Для студентов СПО специальности 11.02.10 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение». – Хабаровск: ХИИК «СибГУТИ», 2019. – 59с.
2. *Бездверный С.А.* Студенческое радиовещание в ХИИК / 18-я (XVIII) межвузовская Всероссийская научно-практическая (очно-заочная) конференция школьников, студентов и преподавателей: «Инновационные инфокоммуникации XXI века» посвященная Дню Радио и Дню Победы (5 мая 2017 года): научные материалы конференции / Председатель редакционной коллегии профессор, д.т.н. *С.И. Клепиков* и др. – Хабаровск: Изд-во ХИИК «СибГУТИ», 2017. – С. 390-392.
3. *Биченко И.Г.* Ценностные ориентации студентов в условиях социальной аномии: автореф. дис. ... канд. соц. наук: 22.00.04. – М.: МГУ, 2009. – 23с.
4. *Быкова М.В.* Образовательные возможности современного университетского радио и проблемы их реализации // Научные ведомости. – 2013. - № 13 (156). – Выпуск 18. – С. 171-180. – Серия «Гуманитарные науки».
5. *Колесникова А.В.* Особенности студенческого радио как типа СМИ // Средства массовой информации в современном мире: Петербургские чтения: тезисы межвузовской научно-практической конференции. – СПб.: Роза мира, 2010. – С. 285-286.
6. *Колесникова А.В.* Роль студенческой радиостанции в формировании единого информационного пространства университета // Известия СНЦ РАН, Специальный выпуск «Технология управления организацией. Качество продукции и услуг». – 2008. – С. 114-120.
7. *Колесникова А.В.* Типологическая характеристика современного студенческого радиовещания: автореф. дис. ... канд. филолог. наук: 10.01.10. – СПб.: СПбГУ, 2011. – 26с.
8. *Лобанов В.С.* Концепция информатизации высшего образования России / *В.С. Лобанов, А.Д. Иванников, Б.Н. Богатырь* // Высшее образование в России. – 1994. – №1. – С. 30–52.
9. Радиовещание и электроакустика: учебное пособие для вузов / Под ред. *Ю.А. Ковалгина*. – М.: Радио и связь, 2002. – 791с.
10. *Раскатова Е.Р.* Типологический анализ современного российского радиовещания: автореф. дис. канд. филол. Наук. 10.01.10. – Воронеж: ВГУ, 2005. – 22 с.
11. *Сергей Комаров.* Сколько стоит сделать радио? – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.openbusiness.ru/biz/business/skolko-stoit-sdelat-radio/>
12. *Смирнов В.В.* Формы вещания: Функции, типология, структура радиопрограмм: учеб. пособие для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 203с.
13. *Сушко С.А.* Образовательное, общественное радиовещание и радиоператы в США. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://free.radiodx.ru/page-35.xml>.
14. *Федоренко И.П.* Конспект лекций по электроакустике и радиовещанию. – Новосибирск: СибГУТИ, 2002. – 123с.

## ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАТ-БОТА В УНИВЕРСИТЕТЕ

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

Ключевые слова: чат-бот, мессенджер, университет, социальные сети, сообщения.

Чат-боты - компьютерные программы, предназначенные для предоставления услуг, которые взаимодействуют посредством обмена мгновенными сообщениями.

Существует ряд причин, по которым чат-боты стали популярны в современном мире.

Главным фактором является то, что приложения для мгновенного обмена сообщениями теперь имеют большее количество пользователей, чем платформы социальных сетей.

На сегодняшний день чат-боты можно использовать почти во всех сферах деятельности, но в сфере образования данная тенденция плохо развита. Почти все высшие учебные заведения имеют учетную запись в социальных сетях, но мало кто использует чат-ботов для связи со студентами.

В данной статье рассмотрены основные преимущества использования чат-бота в университете.

**T.A. Burina, M.S. Evdokimov, L.I. Doliner**

## ADVANTAGES OF USING A CHATBOT AT A UNIVERSITY

Urals Technical Institute of Communication and Computer Sciences (Branch) FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: chatbot, messenger, university, social media, message.

Chatbots are computer programs designed to provide services that interact via instant messaging.

There are a number of reasons why chatbots have become popular in the modern world.

The main factor is that instant messaging apps now have more users than social media platforms.

Today, chatbots can be used in almost all spheres of activity, but in the field of education, this trend is poorly developed. Almost all higher education institutions have a social media account, but few use chatbots to communicate with students.

This article discusses the main advantages of using a chatbot at the University.

Чат-боты - компьютерные программы, предназначенные для предоставления услуг, которые взаимодействуют посредством обмена мгновенными сообщениями.

Общение с чат-ботами может ничем не отличаться от обмена сообщениями с людьми и часто оказывается, что услуги, предоставляемые чат-ботами, являются более эффективными.

Существует ряд причин, по которым чат-боты стали популярны в современном мире.

Главным фактором является то, что приложения для мгновенного обмена сообщениями теперь имеют большее количество пользователей, чем платформы социальных сетей. По данным Business Insider, популярность приложений для обмена мгновенными сообщениями впервые превзошла социальные сети в 2015 году [1]. На данный момент времени большинство людей имеет по крайней мере одно приложение для обмена мгновенными сообщениями. Расширение доступа к wi-fi и технические возможности позволили чат-приложениям стать мультимедийными центрами, где можно легко обмениваться изображениями и видео без дополнительных расходов.

На сегодняшний день чат-боты можно использовать почти во всех сферах деятельности, но в сфере образования данная тенденция плохо развита. Почти все высшие учебные заведения имеют учетную запись в социальных сетях, но мало кто использует чат-ботов для связи со

студентами. Для многих университетов телефонные звонки или электронные письма являются основным источником взаимодействия со студентами. Используя сейчас устаревшие формы коммуникации, университеты упускают из виду построение качественных отношений.

Недавнее исследование Gallup показало, что обмен сообщениями для молодого поколения является предпочтительным методом коммуникации, причем 68% говорят, что сообщения были их основным источником общения [2]. Этот сдвиг в сторону текстовых сообщений привел к значительному сокращению телефонных звонков среди молодого поколения. На самом деле, многие считают телефонные звонки неудобными, особенно когда они разговаривают с кем-то незнакомым.

Таким образом, рассмотрим некоторые преимущества использования чат-бота.

Простота в использовании и нейтральность, ведь они могут работать на платформе для любой целевой группы, на которую настроены.

Быстрота реагирования и доступность данных обеспечивают возможность их использования без загрузки приложений. Чат-боты устанавливаются в программах обмена сообщениями, таких как ВКонтакте, Telegram, Facebook Messenger и другие.

Чат-боты доступны вне зависимости от времени, обеспечивая быстрые ответы. Эта система не только повышает удовлетворенность пользователей, но и собирает большие объемы данных о поступающих и возвращаемых запросах.

Поиск любой информации занимает время. И вместо того, чтобы тратить часы на исследование, вся необходимая информация может быть представлена через мгновенные сообщения.

Чат-боты очень удобны, потому что они доступны и, в отличие от приложений, не нуждаются в дополнительной памяти.

При правильном создании и использовании эти цифровые ассистенты способны отправлять текстовые сообщения, фотографии, аудио и ссылки в реальном времени в виде ответов на запросы пользователей.

Нет никаких сомнений, что чат-боты чрезвычайно полезны для ответов на часто задаваемые вопросы. Университеты могут использовать чат-ботов, чтобы отвечать на вопросы, касающиеся платы за обучение, сроки подачи заявок и стипендиальной информации. Чат-боты могут даже помочь с наплывом общих вопросов, которые возникают в определенное время года, например, в начале каждого семестра.

Некоторые зарубежные университеты уже осваивают применение чат-ботов для совершенствования коммуникации со студентами и это находит отклик.

Университет штата Джорджия реализовал стратегию чат-бота для улучшения общения со студентами. Университет не был уверен в том, как быстро студенты адаптируются к новой технологии. Тем не менее, всего через 4 месяца 63% студентов использовали платформу chatbot на регулярной основе [3].

В Университете Джорджа Вашингтона создаются чат-боты, обеспечивающие поддержку информационных, административных и педагогических функций. Сегодня MARTHA помогает студентам с общими вопросами, такими как: "как я могу сбросить свой пароль?" Чат-бот снижает живые очереди и увеличивает удовлетворенность студентов своим быстрым откликом.

Народный университет (UoPeople), чтобы более эффективно общаться с будущими студентами разработал бота в Facebook Messenger со Smartloop. Чат-бот имеет возможность предоставить заинтересованным студентам необходимую информацию об университете, в том числе о программах, которые он предлагает, и об их оплате. Чат-бот даже способен определить, соответствует ли человек требованиям для поступления в университет и, если да, пригласить студента подать заявку [3].

Таким образом, преимущества эффективности чат-ботов неоспоримы, но важно понимать, что студенты будут требовать и человеческого контакта время от времени для решения более сложных проблем. Инструменты автоматизации, такие как чат-боты, должны использоваться в полной мере, но, самое главное, для достижения успеха необходимо найти правильный баланс между интеллектуальной автоматизацией и человеческим взаимодействием.



1. *Calvin Reid* – HarperCollins Adds Book Recommendation Bots to Facebook // URL: <https://www.publishersweekly.com/pw/by-topic/industry-news/promotionalss/article/72871-harpercollins-adds-recommendation-bots-to-facebook-messenger.html> (дата обращения: 20.11.2017).
2. *Justin Menard* – Chatbots In Higher Education // URL: <https://listedtech.squarespace.com/blog/chatbot> (дата обращения: 20.04.2020).
3. *Tyler Putz*– Higher Education Marketing: Why Chatbots Are The Future Of Communication // URL: <https://circaedu.com/hemj/higher-education-marketing-why-chatbots-are-the-future-of-communication/> (дата обращения: 20.04.2020).
4. *Мария Любимцева* – Мессенджеры и боты: возможности для продвижения // URL: <https://spark.ru/startup/546dae36cfa4a/blog/17709/messendzheri-i-boti-vozmozhnosti-dlya-prodvizheniya> (дата обращения: 20.04.2020).



## МНОГОСЕРДЦЕВИННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

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

Ключевые слова: пропускная способность, оптическое волокно, многосердцевинные волокна.

В статье рассмотрена возможность решения задачи увеличения пропускной способности оптического волокна с применением мультиплексирования с пространственным разделением каналов.

Целью данной статьи является описание устройства многосердцевинного волокна с линейным массивом сердцевин, анализ и получение диаграммы излучения ближнего поля 23-сердцевинного волокна.

S.V. Porshnev, A.P. Sukhoyev

## MULTI-CORE OPTICAL FIBERS FOR INCREASING THE BANDWIDTH OF FIBER-OPTIC NETWORKS

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian state University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI), Russia

Keywords: bandwidth, optical fiber, multi-core fibers.

The article considers the possibility of solving the problem of increasing the bandwidth of optical fiber using multiplexing with spatial separation of channels.

The purpose of this article is to describe a multi-core fiber with a linear array of cores, analyze and obtain a near-field radiation diagram of a 23-core fiber.

Пропускная способность оптических систем передачи с использованием односердцевинного волокна быстро достигает своего фундаментального предела [1]. Мультиплексирование с пространственным разделением (SDM) с использованием многосердцевинного волокна (MCF) является одной из сильных технологий-кандидатов, для решения задачи увеличения пропускной способности трафика данных.

MCF понимается как волокно, образованное группой взаимно-параллельных сердцевин расположенных вдоль оси волокна, помещенной в оболочку.

В работе [1] представлена технология производства MCF с линейным массивом сердцевин и прямым соединением его со стандартным одномодовым волокном.

Однородное периодическое MCF с линейным массивом сердцевин представлено на рис. 1(а). Во внутренней оболочке имеется множество сердцевин из легированного волокна, расположенных в виде линейного массива. Каждая сердцевина является одномодовой, и расстояние  $d$  между волоконными сердцевинами близко. Радиус сердцевины волокна  $r$ . Показатели преломления сердцевины волокна и оболочки  $n_0$  и  $n_1$  соответственно, показаны на рис. 1(б).

Полученное волокно с линейным массивом сердцевин может быть использовано на анализаторе показателя преломления для исследований. Принцип тестирования - метод ближнего поля. Трехмерный профиль показателя преломления для исследования 5-сердцевинного волокна с линейным массивом сердцевин показан на рис. 2 [1].

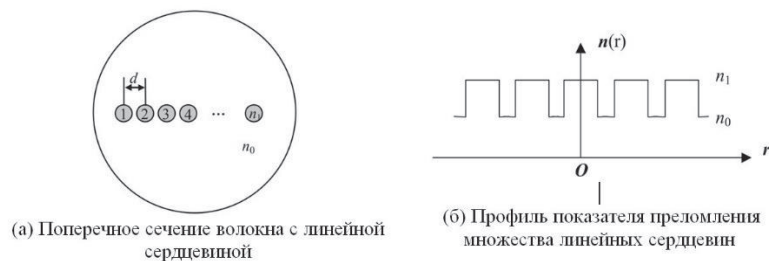


Рис. 1 - Структурная схема многосердцевинного волокна с линейным массивом сердцевин

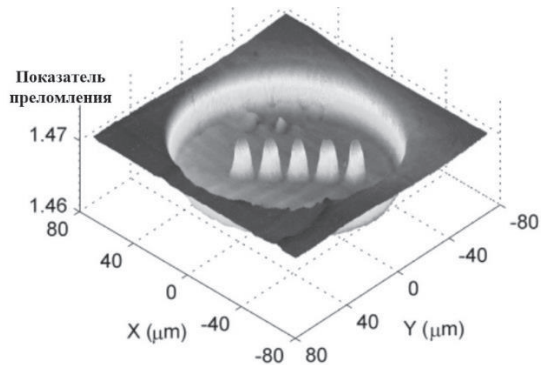


Рис. 2 - 3-D распределение RIP 5-сердцевинного оптического волокна с линейным массивом сердцевин

Показатели преломления сердцевин и оболочки волокна равны  $n_0=1,466$  и  $n_1=1,446$  соответственно. Аналогично, показатели преломления сердцевин волокна и оболочки для волокна с 23 сердцевинами и линейным массивом сердцевин составляют  $n_0=1,446$  и  $n_1=1,452$  соответственно.

Произведенные 5-сердцевинные и 23-сердцевинные волокна с линейным массивом сердцевин, имеющие общие характеристики сердцевин, могут использоваться непосредственно с соединенным со стандартным одномодовым волокном. После сращивания 5-сердцевинного волокна с линейным массивом сердцевин со стандартным одномодовым оптическим волокном, сердцевина одномодового волокна совмещается с центральной сердцевинной 5-сердцевинного оптоволокна. Оптическое возбуждение может быть реализовано напрямую, как показано на рис. 3. Поле Гаусса падающего света, непосредственно преобразуется в выходной сигнал поля моды 5-контактного линейного массива сердцевин. Как видно из рис. 3, производительность преобразования хорошая, поэтому в качестве преобразователя поля мод можно использовать линейный массив оптического волокна.

После сварки одномодового оптического волокна и 23-сердцевинного волокна, выход оптического поля 23-сердцевинного волокна показан на рис. 4.

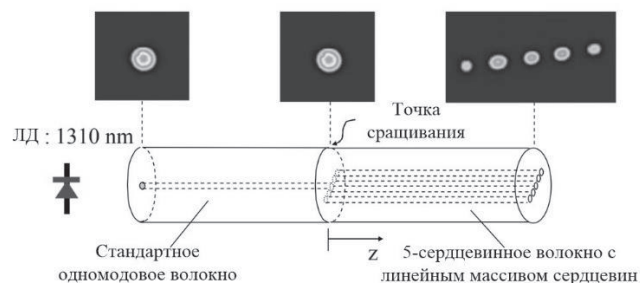
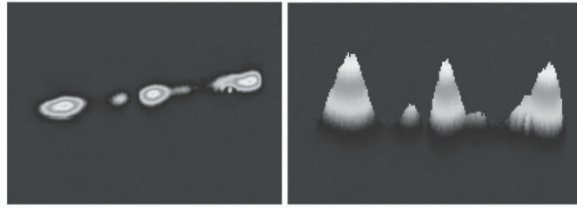


Рис. 3 - Возбуждение 5-сердцевинного волокна методом сращивания

Как показано на рис. 4, оптическая сила волоконной сердцевинной не распределена равномерно, что связано с разным расстоянием передачи оптического волокна [2].



(а) двумерное отображение (б) трехмерное отображение

Рис. 4 - Оптическое поле 23 сердцевинного волокна с линейным массивом сердцевин

Анализ предполагает 23-сердцевинное волокно с одинаковой геометрией и концентрацией легирования. Каждая сердцевина представляет собой одномодовые волноводы, без потерь и одинаковое расстояние между соседними сердцевинами, сердцевина в виде кругового приближения. Когда сердцевинный интервал бесконечен в каждой изолированной волоконной сердцевине, постоянная распространения основной моды  $\beta_1=\beta_2=\beta_3=\dots=\beta_{23}=\beta_0$ , если только учитывать, что каждая сердцевина модели соединена только с сердцевинной, коэффициент соединения соседней сердцевинной  $\kappa_{12}=\kappa_{21}=\kappa_{n, n+1}=\kappa_{n+1, n}=\kappa$ , в соответствии с теорией связанных мод параллельных волноводов, связь между различными сердцевинами может использовать уравнения (1) описывающие взаимодействия мод [1].

$$\frac{d}{dz} \begin{bmatrix} a_1(z) \\ a_2(z) \\ a_3(z) \\ a_4(z) \\ \vdots \\ a_{23}(z) \end{bmatrix} = -j \beta_m \begin{bmatrix} a_1(z) \\ a_2(z) \\ a_3(z) \\ a_4(z) \\ \vdots \\ a_{23}(z) \end{bmatrix} = -j \begin{bmatrix} \beta_0 & \kappa & & & & \\ \kappa & \beta_0 & \kappa & & & 0 \\ & \kappa & \beta_0 & \kappa & & \\ & & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & & \kappa & \beta_0 & \kappa & \\ & & & \kappa & \beta_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1(z) \\ a_2(z) \\ a_3(z) \\ a_4(z) \\ \vdots \\ a_{23}(z) \end{bmatrix} \quad (1)$$

где  $\beta_m(m=1,2,\dots, v)$  - это новая супермодель постоянного присутствия распространения многосердцевинного оптического волокна,  $v$  - номер основы супермодели,  $a_i(z)(i = 1,2,3 \dots, 23)$  - амплитуда поля во внутреннем волокне [3].

Амплитуды всех собственных мод определяются полем возбуждения как  $z=0$ . Когда 1-я сердцевина возбуждается при  $z=0$  единичным электрическим полем, комплексная амплитуда ( $e_i(z)$ ) электрического поля  $i$ -й сердцевинной на расстоянии  $Z$  определяемая по формуле (2) как:

$$e_i(z) = \frac{2}{n+1} e^{-j\beta_0 z} \sum_{m=1}^n \sin \frac{m\pi}{n+1} \cdot \sin \frac{m\pi}{n+1} \cdot e^{-jkz \cos(m\pi/(n+1))} \quad (2)$$

Нормализованная мощность в отдельной сердцевинной получается:

$$P_i(z) = e_i(z)e_i^*(z)$$

Согласно теории связанных мод и теории суперпозиции мод [4], 23 сердцевинного линейного массива волоконно-оптического сердечника слева направо, падающая мощность центральной сердцевинной 1 и последнего равна 0. В этом начальном условии, решить собственные значения уравнений связанной моды и собственные векторы (согласно источнику). На основе теории линейной суперпозиции супермодели распределения амплитуд [4]:

$$E^v(x, y, z) = \left[ \sum_m E_m^v E_m(x, y) \right] \exp(\lambda_v z) \quad (3)$$

где  $E^v(x, y, z)$  - амплитуда  $v$  супермодели, в которой  $E_m^v$  означает, что собственные векторы

$m$ -й компоненты  $E^v$ ,  $\lambda_v$  - уравнения связанных мод для первых  $v$  собственных значений,  $E_m(x, y)$  - сердцевина  $m$ -го поперечного распределения поля, и его выражение:

$$E(x, y) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\omega_0} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\omega_0^2}\right) \quad (4)$$

где  $\omega_0$  - радиус поля моды.

Из уравнения (1) видно, что при определении показателя преломления сердцевины оптического волокна с линейным массивом из 23 сердцевины распределение интенсивности супермодели относится только к интервалу сердцевины, в то время как не зависит от длины передачи  $z$ . Подставив уравнение (3) в уравнение (4), оно может быть рассчитано как поле супермодели 23-сердцевинного линейного волокна, которое показано на рис. 5. Каждая мода помечена целым числом  $v$ , где  $v = 1$  для одной и той же супермодели фазы (все сердцевинки в той же фазе). Показывает график ближнего поля супермодели многосердцевинного волокна с линейным массивом сердцевины. Как показано на рис. 5, мы можем видеть, что номер последовательности  $v$  увеличивается с уменьшением постоянной распространения. Каждый режим совместной фазы общей сердцевины ( $v = 1$ ) имеет одинаковую фазу. Лучшее качество луча. Рабочий режим может улучшить характеристики волоконного лазерного луча, контур поля которого имеет гауссовидное распределение. Контрастность (когда  $v = 23$ ), фаза соседней сердцевины противоположна друг другу, контур поля приблизительно синусоидальный.

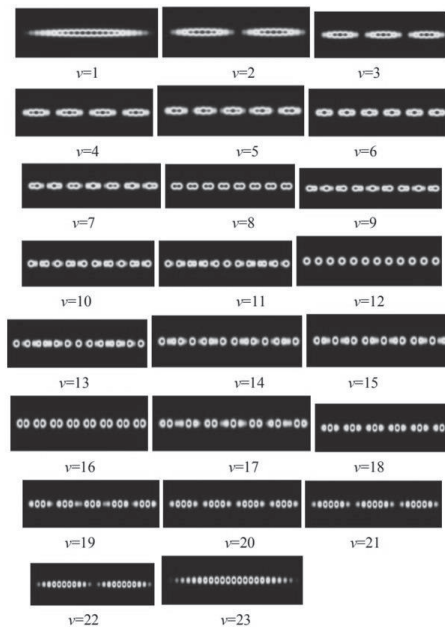


Рис. 5 - Диаграммы излучения ближнего поля волокна с линейным массивом сердцевины.

MCF с линейным массивом сердцевины, может значительно сэкономить затраты на его изготовление. Результаты метода изготовления показывают, что этот тип MCF можно использовать для преобразователя поля оптической моды или оптического соединителя, кроме того, его можно использовать в волоконно-интегрированных приемниках. Это исследование может обеспечить теоретическую основу для многосердцевинного волокна или аналогичной конструкции микроструктурного волокна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Qiang Dai1, Hong Bo Bai1, Xiao Liang Zhu12, Li Jia Ma1, Tao Zhang Fabrication and Optical Properties of Linear-corearray Multicore Fiber // IEEE 2013 978-1-4799-1216-2/13/\$31.00 C.142-145.

2. *Tetsuya Hayashi, Takashi Sasaki, and Eisuke Sasaoka.* Multi-core fibers for high capacity transmission. // OFC/NFOEC Technical Digest - Optical Society of America. 2012 C.1-2.
3. *R. Ryf, R.-J. Essiambre, A. H. Gnauck,* Space-Division Multiplexed Transmission over 4200-km 3-Core Microstructured Fiber, OFC/NFOEC Postdeadline Papers, 2012 PDP5 C.2.
4. *S. Matsuo, Y. Sasaki, I. Ishida.* Recent progress on multi-core fiber and few-mode fiber. // OFC/NFOEC Technical Digest - Optical Society of America. 2013.

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТИ MPLS-TP**

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

**Ключевые слова:** MPLS-TP, имитационная модель, интернет-трафик.

В статье рассмотрен результат создания имитационной модели для исследования характеристик передачи интернет трафика в сети MPLS-TP. Модель строится с использованием программы OPNET. Для оценки производительности различных сервисов на этой платформе было создано шесть классов трафика. Использование имитационной модели позволяет не только наблюдать параметры производительности сети в реальном времени, но и улучшать их.

Целью данной статьи является описание созданной модели и ее работоспособности.

**R.I. Khurmatov, I.V. Solovarov, N.V. Budyldina**

## **SIMULATION MODEL TO RESEARCH CHARACTERISTICS OF A MPLS-TP NETWORK**

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

**Keywords:** MPLS-TP, simulation model, Internet traffic.

The article discusses the result of creating a simulation model for studying the characteristics of the transmission of Internet traffic in a MPLS-TP network. The model is built using the OPNET program. To evaluate the performance of various services, six traffic classes were created on this platform. Using a simulation model allows not only to observe the network performance parameters in real time, but also to improve them.

The purpose of this article is to describe the created model and its performance.

Транспортный профиль многопротокольной коммутации по меткам (Multiprotocol Label Switching – Transport Profile MPLS-TP) – это сетевая технология транспортного уровня с коммутацией пакетов, которая использует псевдопроводы (Pseudo-wire PW) и пути коммутации по меткам (Label Switch Path LSP). MPLS-TP – это профиль MPLS, который поддерживает развертывание в транспортных сетях и позволяет работать в соответствии с другими транспортными технологиями [1].

Поскольку в настоящее время большая часть клиентского трафика основана на коммутации пакетов, инфраструктура, обеспечивающая передачу на транспортном уровне, называется пакетной транспортной сетью (Packet Transport Network PTN). Она обеспечивает прозрачное тестирование с помощью средств Эксплуатации, Администрирования и Обслуживания (Operation, Administration, and Maintenance OAM) и позволяет задавать необходимые уровни качества обслуживания (Quality of Services QoS) для опорных или городских сетей. На сегодняшний день MPLS-TP хорошо документирован. Для изучения характеристик передачи PTN в работе выбрана технология MPLS-TP.

Для изучения и улучшения характеристик передачи интернет-трафика в сети MPLS-TP была создана имитационная модель сети MPLS-TP. На рисунке 1 показан испытательный стенд для моделирования MPLS-TP, построенный с использованием пакета программ для имитационного моделирования OPNET MODELER [2]. Базовая сеть поддерживает 10 гигабитных сервисов Ethernet. В работе смоделированы функции плоскости управления, плоскости данных и плоскости контроля.



Трафик ОАМ генерировался в пограничных маршрутизаторах с наивысшим приоритетом пересылки. Четыре других типа источников с более низким приоритетом трафика были использованы для генерации пяти классов трафика.

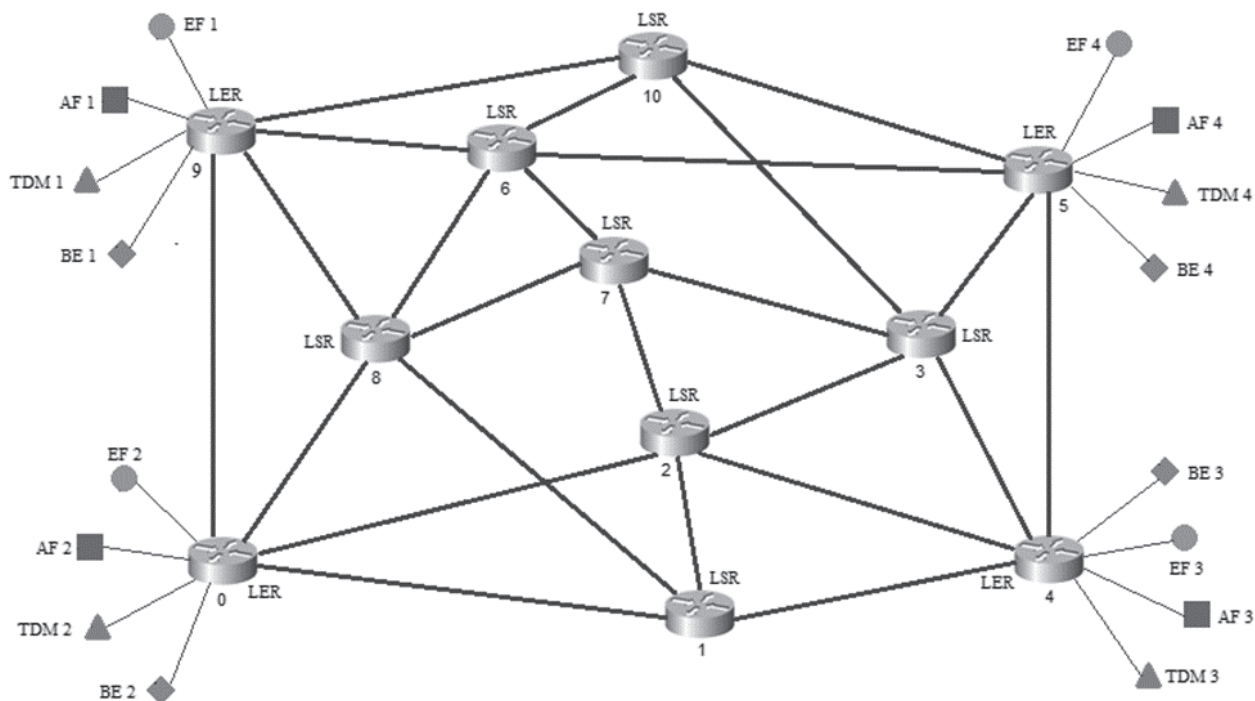



Рис. 1 – Имитационная модель сети MPLS-TP

Для оценки производительности различных сервисов на этой платформе было создано и сосуществовало шесть классов трафика, как показано в таблице 1. В этой таблице также показаны различные требования QoE для каждого класса трафика.

Таблица 1 – Требования QoE к трафику

Кл.	Обозн.	Тип траф.	Требования QoE	Приложения	Распределение длины пакета	Коэф. проп. способ.
	–	OAM	Фиксированная пропускная способность Чувствительность к потере данных	Мониторинг сети	Постоянное значение	Менее 1%
I	▲	TDM	Фиксированная пропускная способность Чувствительность к задержке/дрожанию	Непрерывный трафик	Постоянное значение	3%
II	●	EF	Высокая пропускная способность Чувствительность к потере данных	HD VOD, HDTV	Парето, логонормальное, Вейбула	15%
V	●	EF	Низкая пропускная способность Чувствительность к задержке/дрожанию	VoIP, Видеоконференция	Экспоненциальный рост, постоянное значение	10%
	■	AF	Низкая пропускная	SDTV, VoD,	Парето,	30%

			способность Чувствительность к потере данных	мультимедийное обучение	логономальное, Вейбула	
I		BE	Условная пропускная способность Чувствительность к потере данных	мультимедийное сообщение, удаленное хранилище, HTTP	Парето, постоянное значение	40-45%

Плоскость управления (control plane) моделировалась на основе GMPLS и протоколов автоматической коммутируемой оптической сети (ASON) [3]. Реализация плоскости данных соответствовала ITU-T G.8110.1. Услуги уровня 3 (L3) (например, IP) могут быть адаптированы непосредственно к пакетам MPLS-TP, тогда как услуги L2 [например, Ethernet, первичная цифровая иерархия (PDH), синхронная цифровая иерархия (SDH), асинхронный режим передачи (ATM), и службы Frame Relay (FR)] и Layer 1 (L1) (т. е. TDM) были сначала адаптированы к псевдопроводам (PW) [4], а затем инкапсулированы в пакеты MPLS-TP. Что касается плоскости контроля (management plane), все виды пакетов OAM транспортировались единообразным способом как пакеты данных. Таким образом, это обеспечило удобство для пакетов OAM для мониторинга производительности плоскости данных в реальном времени.

В частности, источники TDM генерируют потоки с постоянной скоростью передачи (CBR), которые моделируют услуги TDM. Классу TDM назначался второй приоритет пересылки. Источники ускоренной пересылки Expedited forwarding (EF) генерируют потоки с коммутацией пакетов для имитации VoIP и потокового медиа-трафика, такого как HDTV, VoD и видеоконференцсвязь. Класс EF получил третий и четвертый приоритет пересылки. Источники гарантированной пересылки (AF) генерируют потоки для имитации большинства услуг SDTV и мультимедиа, которые имеют пятый класс пересылки и ниже, чем трафик EF. Источники с максимальным усилием (BE) имитируют сервисы самого низкого класса (шестой приоритет), такие как http, e-mail или ftp. Согласно [5], размер пакета EF в трафике класса III, AF и BE обычно соответствует распределению Парето, логнормальному или Вейбулла, а потоки трафика характеризуются самоподобием. В нашей симуляции мы объединили источники одного типа на границе сети, чтобы упростить симуляцию. Мы представили каждый источник доступа, с помощью моделей из библиотеки базовых моделей OPNET. Программное обеспечение OPNET широко известно, как эффективный инструмент для моделирования и изучения реальных сетей, поскольку его модели построены в соответствии с нагрузкой трафика и размером пакета, что и в реальных сетях [2].

В этой статье был создан испытательный стенд для моделирования MPLS-TP. Производительность сети можно изучать путем внедрения TDM, VoIP и передачи трафика потокового мультимедиа. Данная модель позволяет проводить эксперименты для анализа работы алгоритмов планирования трафика в сети, исследовать влияние «штормовых» нагрузок на сеть, и измерять параметры производительности сети.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G.8110.1/Y.1370.1 "Architecture of the Multi-Protocol Label Switching transport profile layer network," 2011, pp. 2.
2. OPNET Inc. Support Center [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://opnetprojects.com/opnet-modeler/>.
3. L. Berger, "Generalized multi-protocol label switching (GMPLS) signaling resource reservation protocol-traffic engineering (RSVP-TE) extensions," IETF RFC3473, Jan. 2003.
4. ITU-T Recommendation G.8110.1, "Architecture of transport MPLS (T-MPLS) layer network," 2006, pp. 8–15.
5. Z. Liu, J. Almhana, and R. McGorman, "Approximating lognormal sum distributions with power lognormal distributions," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 57, no. 4, pp. 2611–2617, July 2008.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ НА ПРИМЕРЕ ТЕХНОЛОГИИ LIGHT FIDELITY (LI-FI)

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), Россия

Научный руководитель: Будылдина Надежда Вениаминовна

*Ключевые слова:* беспроводные сети связи, передача информации, инфокоммуникационные технологии, светодиодные лампы, оптическая передача данных.

В цифровом обществе информация потребляется в колоссальных объемах, предъявляются огромные требования к безопасности и скорости передачи. Беспроводные сети являются эффективным решением, если необходимо обеспечить мобильность абонентов и гибкость сети. В последнее время наблюдается тенденция повышения частот радиосистем, что привело к появлению технологии Light Fidelity, передачи информации с помощью мерцания светодиода.

I.V. Korovin, K.I. Bragin

## DEVELOPMENT PROSPECTS OF WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF LIGHT FIDELITY TECHNOLOGY (LI-FI)

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Yekaterinburg (UrTISI SibGUTI), Russia

Scientific adviser: Budyldina Nadezda Veniaminovna

*Keywords:* Light-Fidelity, wireless communication networks, information transmission, infocommunication technologies, LED lamps, optical data transmission.

In a digital society, information consuming in enormous volumes, and there are huge requirements for safety and transmission speed. Wireless networks are an efficient solution if it needs to ensure user mobility and network flexibility. Recently, there is a tendency to increase the frequencies of radio systems, which has led to the development of Light Fidelity technology, the transmission of information by flickering of the LED.

Беспроводные сети являются перспективным направлением в области инфокоммуникационных технологий, так как обеспечивают необходимую гибкость и менее затратны при развертывании и обслуживании. Возник лавинообразный рост трафика, обусловленный увеличением приложений и сервисов, люди стали манипулировать огромными массивами информации. В развивающейся концепции Интернета вещей (IoT) большое количество миниатюрных датчиков проблематично соединять с помощью проводов, беспроводные технологии являются наиболее эффективным решением данной задачи.

Просмотр видеоконтента 4К и 8К в реальном времени требует высокой пропускной способности от канала передачи данных. Если учитывать теорему Шеннона-Хартли, то одним из эффективных способов повысить предельно допустимую скорость это увеличивать полосу пропускания [1].

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right),$$

где  $C$  пропускная способность канала, бит/с;

$B$  ширина полосы пропускания, Гц;

$S$  полная мощность сигнала над полосой пропускания, Вт;

$N$  полная шумовая мощность над полосой пропускания, Вт.

Следовательно, имеем тенденцию увеличения частоты функционирования систем связи. Ярким примером является пятое поколение мобильной связи, где принято решение использовать миллиметровые волны диапазона крайне высоких частот (КВЧ). Если увеличение частот продолжится, человечество столкнется с тем, что даже свет от лампы позволит нам выходить в сеть Интернет.

Однако, уже активно рассматривается решение замены существующего беспроводного подключения Wi-Fi, на технологию передачи информации с помощью света - Light Fidelity (Li-Fi). Ранние исследования утверждают, что это позволит достичь скорости передачи информации до 1 Гбит/с, что значительно превзойдет пропускную способность Wi-Fi систем. Технология не только имеет право существовать, но также имеет огромный потенциал для будущего инфокоммуникаций.

Цель и задачи исследования. Выявить возможность оптимизации существующих беспроводных коммуникаций с помощью технологии Li-Fi.

Light Fidelity это быстрая и сравнительно недорогая оптическая версия Wireless Fidelity, использующая видимый свет электромагнитного спектра от 400 до 800 ТГц в качестве оптического носителя для передачи данных.

Передача информации с помощью света, осуществляется через светодиодные лампы. Данные кодируются посредством мерцания светодиодов. Причем вспышки настолько быстрые, что человеческий глаз не успевает их замечать. Распознает эти мерцания фотодиод принимающего устройства, с его помощью сигнал преобразуется в поток двоичных данных, и в результате пользователь получает его в виде различных мультимедиа.

Основные компоненты базовой системы Li-Fi содержат:

белый светодиод высокой яркости, который служит источником передачи;

кремниевый фотодиод с хорошим откликом на видимый свет в качестве приемного элемента (рисунок 1) [2].

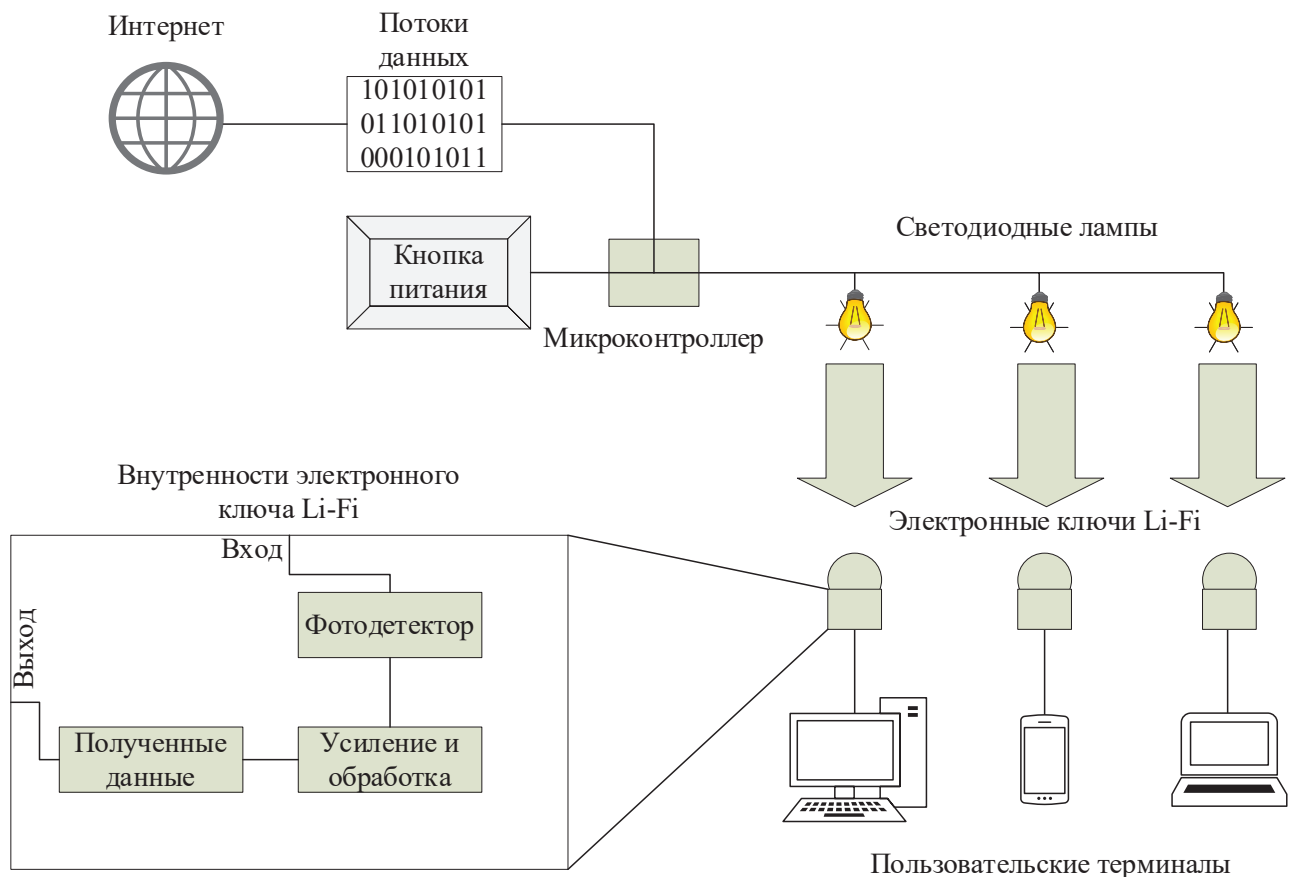


Рис. 1 - Принципиальная схема сети Li-Fi

Области применения технологии Li-fi.

Интернет устройства количество возможных подключений между устройствами зависит от скорости передачи информации. Учитывая тот факт, что Light Fidelity может достигать скорости до 224 Гб/с, можно увеличить количество одновременно взаимодействующих терминалов в несколько раз.

Информационная безопасность маленький радиус действия Li-Fi имеет также и положительную сторону, так как это повышает степень защиты информации. Такое свойство может пригодиться в областях, работающих с большим количеством конфиденциальных данных, например в здравоохранении.

Подводная связь так как свет способен распространяться в водной среде, то возможно открытие новых способов коммуникации между подводными аппаратами.

Военная отрасль данная технология позволяет ограничивать область для обмена информацией, с помощью отдельных освещенных участков. Это дает возможность ограничивать доступ к конфиденциальной информации там, где это требуется.

Авиация появиться возможность использовать Интернет при перелетах, если оснастить системой Li-Fi самолеты.

Разобрав возможные сферы применения, технологи, можно с уверенностью говорить о её перспективности. Некоторые плюсы и минусы теперь можно свести в таблицу 1.

Таблица 1. Плюсы и минусы технологии Light Fidelity

Плюсы	Минусы
Стабильная скорость интернета	Малая дальность передачи данных
Огромная скорость передачи информации	Не может работать при солнечном свете, в темноте, или в других нестабильных условиях
Безопасная передача данных	Риск для здоровья

Рассмотрим уже разработанные системы Li-Fi в нашем мире:

20 июня 2019 года Philips представила лампы-модемы, поддерживающие оптическую технологию Light-Fidelity для беспроводной передачи данных на скорости до 250 Мбит/с под названием «Trulifi». Система передачи информации точка-точка, использующая цветной свет, позволяет создать канал со скоростью до 250 Мбит/с в обоих направлениях на расстоянии до 8 метров [3].

Для того, чтобы воспользоваться высокоскоростным соединением по технологии Li-Fi, пользователям необходимо приобрести специальный приёмник, который подключается к пользовательскому терминалу

В Российской Федерации разработкой систем Li-Fi занимается компания O2.

Компания в сотрудничестве с ведущими университетами и научными центрами России ведет разработки в области оптической высокоскоростной передачи данных с помощью светодиодов по технологии Li-Fi.

Система оптической передачи данных, проектируемая в соответствии с техническими требованиями, состоит из следующих основных элементов:

Li-Fi роутер;

излучающий, клиентский и приемный модули.

Обсуждение результатов исследований. В скором времени, каждое из наших устройств, будет постоянно подключено к сети Интернет, поскольку мы вступаем в эру, где каждая вещь так или иначе имеет выход в сеть, в результате чего Wi-Fi не будет справляться с такими огромными нагрузками.

Учитывая постоянно растущий спрос на беспроводные средства связи, технология Li-Fi имеет хорошие перспективы скорого внедрения, т.к. сможет сочетать освещение и беспроводную передачу данных. При этом, полного вытеснения с рынка Wi-Fi ожидать не стоит.

Обобщая вышесказанное можно сделать вывод, что Li-Fi технология действительно позволит оптимизировать существующие беспроводные подключения и внести весомый вклад в современные технологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теорема Шеннона Хартли. Электронная энциклопедия Википедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Теорема\\_Шеннона\\_—\\_Хартли](https://ru.wikipedia.org/wiki/Теорема_Шеннона_—_Хартли)
2. Li-Fi: Будущее интернета. Хабр. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/435262/>
3. Trulifi. Лампочки-модемы Li-Fi. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Trulifi\\_\(лампочки-модемы\\_Li-Fi\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Trulifi_(лампочки-модемы_Li-Fi))



## МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ PYTHON

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

Ключевые слова: Python, визуализация, интерполяция, полином, кубический сплайн, многочлен Ньютона.

В данной статье рассмотрены методы визуализации данных с помощью языка программирования Python - интерполяция многочленом Ньютона и кубическая сплайновая интерполяция. Приведены основные библиотеки Python, а также реализованы на примерах решения задач интерполяции.

Целью данной статьи является изучение методов визуализации данных с использованием языка программирования Python.

A.N. Egorova, M.A. Feofanov

## METHODS FOR VISUALIZING DATA USING PYTHON

Ural technical Institute of communications and Informatics (branch) Siberian state University of telecommunications and Informatics in Moscow Yekaterinburg (Urtica SibSUTI), Russia

Keywords: Python, visualization, interpolation, polynomial, cubic spline, Newton polynomial.

This article discusses methods for visualizing data using the Python programming language- interpolation by the Newton polynomial and cubic spline interpolation. The main Python libraries are presented, and they are implemented using examples of solving interpolation problems.

The purpose of this article is to study data visualization methods using the Python programming language.

Python – интерпретируемый, объектно-ориентированный высокоуровневый язык программирования с динамической типизацией переменных. Встроенные высокоуровневые структуры данных в сочетании с динамической типизацией и связыванием делают язык эффективным инструментом для быстрой разработки приложений [1].

Синтаксис Python достаточно прост в изучении, в нем придается особое значение читаемости кода, а это сокращает затраты на сопровождение программных продуктов.

Python поддерживает модули и пакеты, при этом модульности и повторному использованию кода отдается приоритет.

Интерпретатор Python и вся стандартная библиотека свободно распространяются в виде исходных и исполняемых кодов для всех основных платформ.

В соответствии с модульным подходом к программированию большая задача разбивается на несколько более мелких, каждую из которых решает отдельный модуль.

В разных методологиях даются различные ограничения на размер модулей, однако при построении модульной структуры программы важно составить такую композицию модулей, которая позволила бы свести к минимуму связи между ними.

Есть еще одно полезное свойство языка программирования – это стандартная библиотека, которая является обширной коллекцией дополнительных модулей, поддерживающих решение распространенных научно-технических задач. Это позволяет, работая на Python, просто распределить численные расчеты между низкоуровневыми расширениями, реализованными на C или Fortran. Так устроены библиотеки NumPy (Numeric Python – численный Python) и SciPy (Science Python – научный Python), где NumPy отвечает за высоко оптимизированные многомерные массивы – основную структуру данных для большинства современных алгоритмов, как это делает Matlab. А SciPy на базе этих массивов реализует быстрые численные

алгоритмы.

Наконец, расширение Matplotlib – это очень удобная и функционально развитая библиотека для построения высококачественных графиков на Python.

Библиотеки Numpy, Scipy и Matplotlib имеют развитые модули и функции для организации и проведения вычислений и визуализации полученных результатов [2].

Пусть задана некоторая функциональная зависимость вида

$$f(x) = (1 + 25x^2)^{-1}$$

Надо проинтерполировать данные в равноотстоящих узлах для данной функции на интервале  $[-1, 1]$  при  $N = 4, 6, 10$ .

Для задачи интерполяции будем использовать многочлен Ньютона, для чего составим отдельный модуль для вычисления коэффициентов интерполяции.

Здесь функция coef() вычисляет коэффициенты интерполяционного полинома Ньютона, а функция interpolation() вычисляет значения полинома в заданной точке.

Результат работы программы представлен на рис. 1.

Приведенные на этом рисунке расчетные данные показывают недостатки полиномиальной аппроксимации при больших значениях  $N$ .

Сравним полученные расчетные данные в случае интерполяции многочленом Ньютона с кубической сплайновой интерполяцией для той же заданной функциональной зависимости  $f(x)$ .

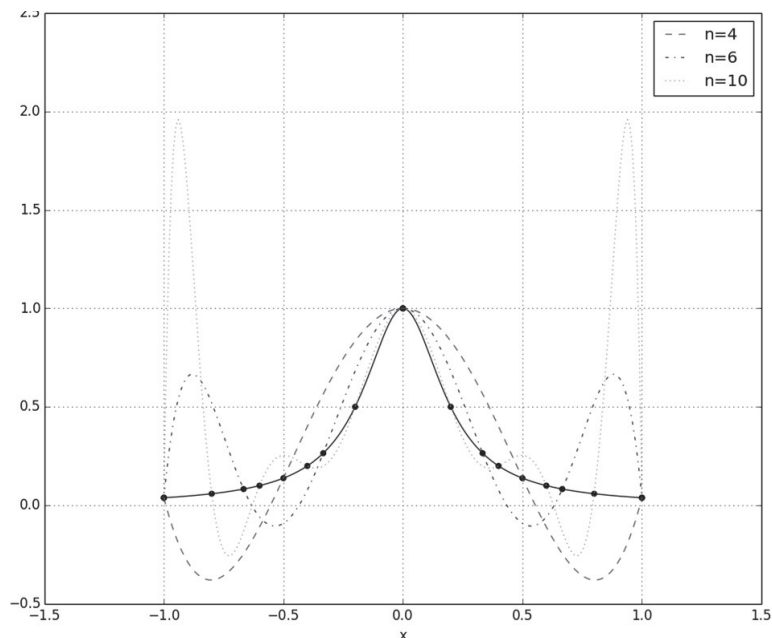


Рис. 1 - Интерполяция функциональной зависимости  $f(x)$

Пусть  $h_i = x_i - x_{i-1}$ , где  $i = 1, 2, \dots, N$ . Тогда для кубического сплайна с учетом можно выписать систему уравнений:

$$a_i = f(x_i) \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$a_i + b_i h_{i+1} + \frac{c_i}{2} h_{i+1}^2 + \frac{d_i}{6} h_{i+1}^3 = f(x_{i+1}), \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

$$b_i + c_i h_{i+1} + \frac{d_i}{2} h_{i+1}^2 = b_{i+1}, \quad i = 0, 1, \dots, N-2 \quad (3)$$

$$c_i + d_i h_{i+1} = c_{i+1}, \quad i = 0, 1, \dots, N-2 \quad (4)$$

$$c_0 = 0, \quad c_{N-1} + d_{N-1} h_N = 0 \quad (5)$$

Если определить  $C_N = 0$ , то из (4) и (5) получаем:

$$d_i = \frac{c_{i+1} - c_i}{h_{i+1}}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (6)$$

и условие (5) примет следующий вид

$$c_0 = 0, \quad c_N = 0 \quad (7)$$

При подстановке (1), (6) в (2) находим коэффициенты  $b_i$ :

$$b_i = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{h_{i+1}} - \frac{h_{i+1}}{6}(c_{i+1} + 2c_i), \quad i = 1, 2, \dots, N-1 \quad (8)$$

С учетом (6), (8) выражение (3) записывается в виде уравнения:

$$c_{i-1}h_i + 2c_i(h_i + h_{i+1}) + c_{i+1}h_{i+1} = 6\left(\frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{h_{i+1}} - \frac{f(x_i) - f(x_{i-1}))}{h_i}\right), \quad i = 1, 2, \dots, N-1 \quad (9)$$

В итоге получается линейная система уравнений (7), (9) с трехдиагональной матрицей, что позволяет решить систему.

Другие коэффициенты сплайна определяются из (1), (6) и (8).

Для составления программы расчета также используем модульный принцип: в модуле `coefspline()` вычисляются коэффициенты кубического сплайна, а функция `spline()` вычисляет значения кубического сплайна в заданной точке. Для нахождения коэффициентов сплайна предназначена функция `solveu3()` из модуля `lu3`.

Результат работы программы показан на рис. 2, на котором показаны преимущества сплайновой интерполяции.

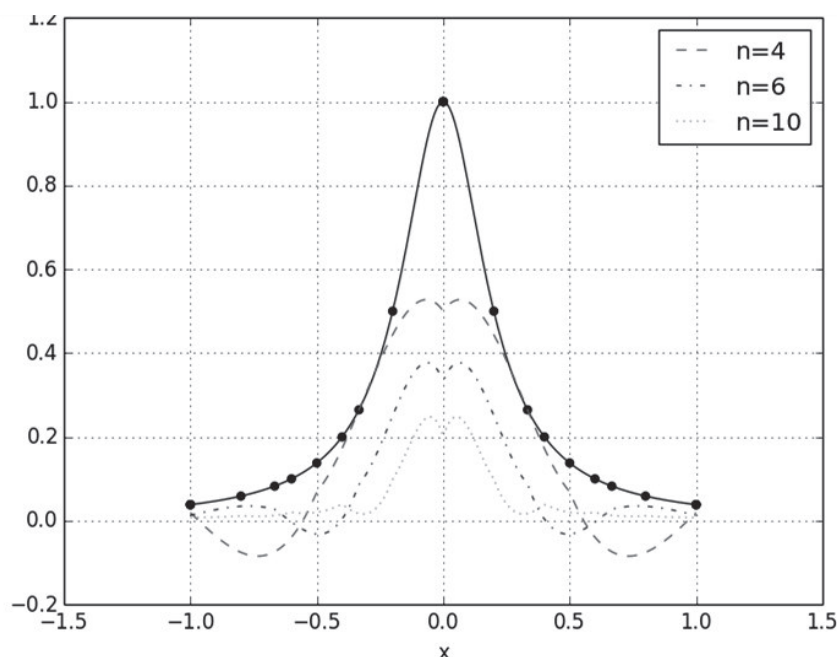


Рис. 2 - Сплайновая интерполяция функции  $f(x)$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Язык программирования Python. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ideafix.name/wp-content/uploads/2012/03/Python-1.pdf> (дата обращения 11.03.2020)
2. Python. Основные программные модули Python. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ideafix.name/wp-content/uploads/2012/03/Python-2.pdf> (дата обращения 11.03.2020)

## ПРЕИМУЩЕСТВА СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ РЕЛЕЙНО-ПРОЦЕССОРНОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ ТИПА ЭЦ-МПК-У

Уральский государственный университет путей сообщения  
Российская Федерация, г. Екатеринбург

Научный руководитель Гундырев Константин Вячеславович

Ключевые слова: электрическая централизация, релейно-процессорная централизация, ЭЦ-МПК, ЭЦ-МПК-У.

Статья представляет собой сравнение и анализ существующих систем электрической централизации на станциях, описывает преимущества системы релейно-процессорной централизации типа ЭЦ-МПК-У по сравнению с классическими релейными системами типа ЭЦ-12 и БМРЦ.

R. Yu. Chukaeva

## ADVANTAGES OF THE MODERN SYSTEM OF RELAY-PROCESS CENTRALIZATION TYPE EC-MPK-I

Ural State University of railway transport  
Russian Federation, Ekaterinburg

Scientific adviser: Gundyrev Konstantin Vyacheslavovich

Key words: electrical centralization, relay-processor centralization, EC-MPK, EC-MPK-I.

The article is a comparison and analysis of existing electrical centralization systems at stations, the article describes the advantages of a relay-processor centralization system of the EC-MPK-U type compared to classical relay systems of the EC-12 and BMRC types.

Стремительно развивающийся мир требует все больших скоростей от транспортной инфраструктуры. Однако, с увеличением скоростей на железных дорогах требуется увеличить безопасность движения поездов и модернизировать существующие системы на перегонах и станциях для увеличения пропускной способности железных дорог. Современные требования к системам электрической централизации на станциях приводят к увеличению числа взаимозависимостей, обеспечивающих безопасность движения, а, следовательно, и росту числа аппаратуры на постах ЭЦ. Таким образом, тема статьи является актуальной.

**Цель исследования.** Рассмотреть существующие системы электрической централизации типов ЭЦ-12 и БМРЦ, используя литературу по теме.

**Задачи исследования:** рассмотреть релейные системы электрической централизации, сравнить релейно-процессорную систему типа ЭЦ-МПК-У с рассмотренными системами.

**Методики исследования.** Сравнительный анализ систем электрической централизации с использованием литературы по теме.

Блочная маршрутно-релейная система электрической централизации, разработанная в 60-х гг. прошлого века, применяется на крупных станциях. Блочная система монтажа БМРЦ позволяет быстрее собирать систему электрической централизации при модернизации или при новом строительстве, находить и устранять отказы путем замены отказавшего блока на новый, включать в цепи достаточно большое количество объектов на станции.

В БМРЦ используется маршрутное управление стрелками и сигналами. Это означает, что маршруты задаются только двумя кнопками: кнопкой конца и кнопкой начала маршрута. Раздельное управление стрелками и сигналами используется только при неисправностях системы.

Размыкание маршрута происходит посекционно, что значительно увеличивает пропускную способность горловин станций.

Вся схемная часть централизации делится на схемы маршрутного набора, схемы включения объектов, схемы установки и размыкания маршрутов [1].

Схемы маршрутного набора в БМРЦ представлены четырьмя цепями: схемой кнопочных реле, схемой управляющих стрелочных реле, схемой автоматических кнопочных реле и схемой соответствия, проверяющей установку всех стрелок, входящих в маршрут, в нужное положение, а также отсутствие вреза. Эти схемы спроектированы таким образом, что при возникновении в них неисправностей не возникнет опасных отказов. Поэтому в этих схемах используются реле не I класса надежности.

Схемы исполнительной группы БМРЦ включают в себя схему контрольно-секционных реле, схему маршрутных и замыкающих реле, схему сигнальных реле, цепь реле разделки, а также схемы контроля на табло установленного маршрута и занятия участков. Схемы реле исполнительной группы управляют установкой и размыканием маршрутов, обеспечивают безопасность движения поездов, а потому в них используются реле I класса надежности.

На промежуточных станциях применяется система ЭЦ-12 в различных модификациях: ЭЦ-12, ЭЦ-12-80, ЭЦ-12-83, ЭЦ-12-90, ЭЦ-12-2000, ЭЦ-12-2003.

В первых трех модификациях ЭЦ-12, ЭЦ-12-80 и ЭЦ-12-83 любой маршрут задавался нажатием двух кнопок – начала и конца маршрута. Установкой элементарных маршрутов набирались сложные, поэтому схемы наборной группы реле значительно упрощались [1].

В следующих трех модификациях ЭЦ-12-90, ЭЦ-12-2000 и ЭЦ-12-2003 целью сокращения кнопок на аппарате управления у каждого светофора устанавливается только одна кнопка, которая при нажатии определяет направление движения. Для выбора категории маршрута на пульт-табло предусматриваются дополнительно три кнопки – поездная, маневровая и маневровая для движения по двум белым огням [1].

Маршрут в этих системах электрической централизации задается нажатием кнопки, соответствующей категории маршрута, а затем нажимаются кнопки начала и конца маршрута. Вариантный маршрут при этом задается с нажатием промежуточной кнопки после нажатия начальной кнопки маршрута.

Задание любого основного маршрута осуществляется последовательным нажатием соответствующей кнопки категории маршрута и кнопок начала и конца маршрута. Прежде чем задать маршрут диспетчер должен перевести стрелки, входящие в маршрут в правильное положение.

В отличие от БМРЦ система ЭЦ-12 состоит из схемных узлов. Схемный узел – совокупность реле, относящихся к одному объекту, находящемуся на станции.

Система электрической централизации на базе микроЭВМ и программируемых контроллеров ЭЦ-МПК разработана в Центре компьютерных железнодорожных технологий Петербургского университета путей сообщений. Реализация ряда функций в ЭЦ-МПК средствами вычислительной техники позволяет по сравнению с ЭЦ релейного типа сократить в 2 - 2,5 раза число реле, приходящихся на одну стрелку и уменьшить площади служебно-технических помещений здания поста, используемые под оборудование [2].

Трехуровневая структура ЭЦ-МПК включает в себя верхний уровень – автоматизированные рабочие места дежурного по станции и электромеханика поста централизации, второй уровень – КТС УК (комплекс технических средств управления и контроля), и третий уровень, включающий в себя реле исполнительной группы.

АРМ ДСП представляет собой резервированные персональные компьютеры и органы управления, которыми являются мышь и клавиатура. Управление объектами производится при помощи графического интерфейса: кнопки и команды для управления выведены на монитор активного комплекта аппаратуры.

КТС УК обеспечивает связь между верхним и нижним уровнями. Обмен информации между АРМ и вычислительными средствами КТС УК производится по локальной вычислительной сети на основе стандартного протокола Ethernet [3].

Устройства ЭЦ-МПК имеют программно-аппаратные стыки для увязки с системами диспетчерского контроля и диспетчерской централизации, а также с системами удаленного



мониторинга и контроля такими как, АДК-СБЦ и АПК-ДК.

Релейно-процессорная централизация стрелок и сигналов на базе микроЭВМ и программируемых контроллеров ЭЦ-МПК-У является следующим этапом развития ЭЦ-МПК. Система ЭЦ-МПК проектируется на основе ТР-02-200-МПК-У и является современной, открытой наращиваемой системой, адаптируется к условиям конкретной станции при новом проектировании и при изменениях ее путевого развития. В технических решениях ЭЦ-МПК-У используется модернизированная исполнительная группа с использованием минимального числа малогабаритных реле типа Н, обеспечивающих блокировочные зависимости по безопасности. Это позволило получить в среднем показатель 0,6 стativa на стрелку, по сравнению с 1,5 в релейном аналоге ЭЦ12-03, а число реле на стрелку приближается к показателем МПЦ с релейным интерфейсом [3].

Система ЭЦ-МПК-У является системой с центральным питанием и центральными зависимостями. Применение ЭЦ-МПК-У является наиболее целесообразным на станциях с числом централизованных стрелок до 30 [4].

В релейно-процессорной системе типа ЭЦ-МПК-У реализуются маршрутное и индивидуальное управление стрелками. Автоматизация установки маршрутов и других действий ДСП, не связанных с обеспечением безопасности движения, выполняются средствами вычислительной техники системы ЭЦ-МПК-У, что позволяет оптимизировать и упростить принципиальные электрические схемы управления и контроля ЭЦ, сократить количество используемых реле [4].

ЭЦ-МПК-У обеспечивает:

- централизованное управление и контроль объектов на станции;
- контроль состояния соседних зон управления на крупных станциях (участковых, пассажирских, технических, сортировочных) с необходимой степенью детализации информации;
- реализацию ответственных команд, исполняемых без проверки условий безопасности и формируемых дежурным по станции с соблюдением определенного регламента при отказах напольных устройств;
- реализацию функций линейного пункта диспетчерской централизации;
- автоматическое речевое оповещение работающих на путях о приближении поезда;
- автоматическую очистку стрелок;
- диагностирование вычислительных средств и напольных устройств станции и фиксация неисправностей;
- хранение, просмотр и статистическая обработка отказов в ЭЦ;
- поддержку оперативного персонала в нестандартных ситуациях (исключение некорректных действий пользователя, режим подсказки);
- реконфигурацию зоны управления (т. е. возможность привлечения помощника при увеличении загрузки, передача на кодовое управление ДСП соседней станции);
- сопряжение с информационными системами вышестоящего уровня;
- увязку с ДЦ без применения дополнительных аппаратных средств;
- выключение маневрового сигнального показания при нарушении условий безопасности в заданном маршруте;
- непрерывное протоколирование действий эксплуатационного персонала по управлению объектами и всей поездной ситуации [4].

Исходя из вышеизложенного видно, что преимуществами системы ЭЦ-МПК-У является не только возможность сокращения количества реле, приходящихся на одну стрелку, но и расширенные возможности, такие как непрерывное «общение» с пользователем, самодиагностика, возможность увязки через интерфейсные стыки без использования дополнительных огромных релейных схем практически с любыми системами диагностики и диспетчерского контроля и диспетчерской централизации, что является немаловажным фактором при проектировании новых систем или модернизации существующих для высокоскоростного движения [5].

Таким образом, системы электрической централизации, базирующиеся полностью или частично на микроЭВМ и программируемых микроконтроллерах, становятся новым этапом в



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валиев, Ш.К.* Изучение и исследование схем блочной маршрутно-релейной централизации: учеб.-метод. Пособие / Ш. К. Валиев, Р. Ш. Валиев. – Екатеринбург: УрГУПС, 2016. – 140 с.
2. Сайт Центра компьютерных железнодорожных технологий ПГУПС [Электронный ресурс]. – Спб. – Режим доступа: <http://crtc.ru/ec.php>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Сайт НИЛ КСА [Электронный ресурс]. / Презентация. ЭЦ-МПК. ЭЦ-МПК-У. – Екатеринбург. – Режим доступа: <https://nilksa.ru/wp-content/uploads/2017/05/ecMpk.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Технические решения ТР-02-200-МПК-У «Релейно-процессорная электрическая централизация стрелок и сигналов на базе микроЭВМ и программируемых контроллеров (ЭЦ-МПК-У)».
5. *Могильников Ю.В., Гундырев К.В., Галинуров Р.З.* Системы управления движением поездов в контексте высокоскоростного сообщения // Транспорт Урала. 2017. №3 (54). С. 35-40.

## КОДИРОВАНИЕ СТАЦИОННЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ В СИСТЕМЕ ЭЦ-МПК-У

ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» в г. Екатеринбург (УрГУПС), Россия

Научный руководитель Могильников Юрий Валерьевич

Ключевые слова: кодирование, тональные рельсовые цепи, ЭЦ-МПК-У.

В статье рассмотрены достоинства ТРЦ; выявлено назначение ключей УСО в кодировании стационарных рельсовых цепей в системе ЭЦ-МПК-У. Также произведен анализ кодирования на примере схемы кодирования маршрута приема. Приведена таблица зависимости состояния ключей УСО от состояния свободности (занятости) секций маршрута.

Целью данной статьи является выявление отличительной особенности кодирования и рассмотрение принципов кодирования в системе ЭЦ-МПК-У.

Sharlaimova V.V.

## CODING STATIONARY RAIL CHAINS IN EC-MPK-U SYSTEM

FGBOU VO «Ural State University of Railway Transport»  
in Yekaterinburg (USURT), Russia

Scientific adviser: Mogilnikov Yuriy Valerevich

Keywords: coding, tonal rail circuits, EC-MPK-U.

The article considers the advantages of the mall; the purpose of the USO keys in the EC-MPK-U system is revealed. In addition, the analysis of coding on the example of the encoding scheme of the reception route. The table of dependencies of the state of the sections of the route.

The purpose of this article is to identify the distinctive features of coding and consider the principles of coding in the EC-MPK-U system.

Рельсовые цепи тональной частоты – это рельсовые цепи, работающие на частотном амплитудно-модулированном сигнале.

В 1990 году появилось первое понятие «тональные рельсовые цепи». За 30 лет существования ТРЦ подвергались изменениям и доработкам.

Отличительной особенностью ТРЦ является питание двух смежных РЦ от одного общего источника сигнального тока [1].

ТРЦ имеют ряд преимуществ:

- отсутствие изолирующих стыков;
- возможность применения при всех видах тяги;
- более высокая защищенность от воздействия помех тягового тока;
- уменьшение количества дроссель-трансформаторов на электрифицированных участках.

Не лишены и недостатков системы автоблокировки на основе тональных рельсовых цепей [4].

На данный момент принята программа по замене устаревших релейных устройств СЦБ на новые, поэтому перспективным является применение микропроцессорных систем и релейно-процессорных [2].

В системе ЭЦ-МПК-У часть алгоритма кодирования перенесена на программный уровень. Поэтому для проверки условий кодирования, какой-либо секции, необходимо меньшее количество контактов реле. Это позволило сократить монтаж.

Кодирование станционных рельсовых цепей, оборудованных устройствами ЭЦ-МПК-У, отличается от предыдущих систем. В системе ЭЦ-МПК-У включение общих кодово-включающих реле и кодово-включающих реле секций осуществляется от УСО КТС УК по мере прохождения поезда по участку приближения и трассе маршрута [3].

В качестве примера рассмотрим схему кодирования маршрута приема с Ч на III.

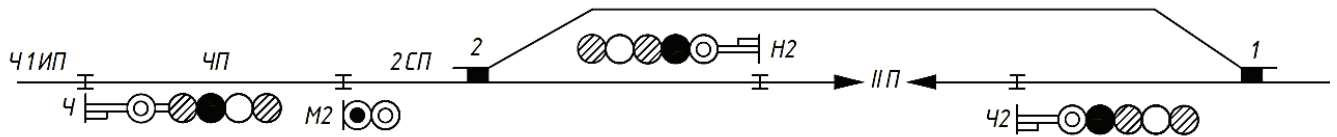


Рис. 1 - Станция кодирования

Схемы кодирования состоят из четырех каскадов:

- 1) групповое кодово-включающее реле – 2ЧПКВ;
- 2) индивидуальные-кодово-включающие реле – участков пути ЧПЧПКВ, 2ЧСКВ и главного пути А2ПЧКВ, Б2ПКВ (оборудованного двумя рельсовыми цепями А2П, Б2П);
- 3) групповые транзиттерные реле и КППШ (ГКТ);
- 4) схема подключения аппаратуры к ТРЦ.

Реле 2ЧПКВ в нормальном состоянии выключено и включается при замыкании ключа 2ЧПКВ и при выполнении следующих условий: пригласительный сигнал на входном Ч выключен (реле ЧПС без тока); замкнута последняя секция в маршруте приема на III (повторитель замыкающего реле 2з последней по ходу движения секции без тока); открыт входной светофор Ч для приема на главный путь III (реле ЧРУ и ЧГМ под током), свободен III (реле 2П под током).

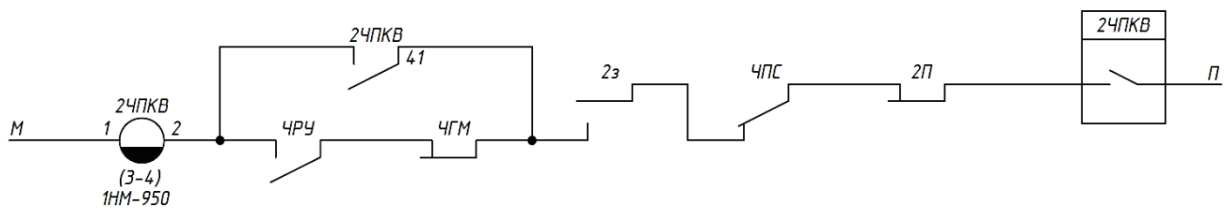


Рис. 2 - Схема группового кодово-включающего реле

Индивидуальные кодово-включающие реле ЧПЧПКВ, 2ЧСКВ включаются при замыкании ключей ЧПЧПКВ, 2ЧСКВ соответственно и замкнутом фронтном контакте реле 2ЧПКВ, а реле А2ПЧКВ, Б2ПЧКВ включаются при замыкании ключей А2ПЧКВ, Б2ПЧКВ соответственно.

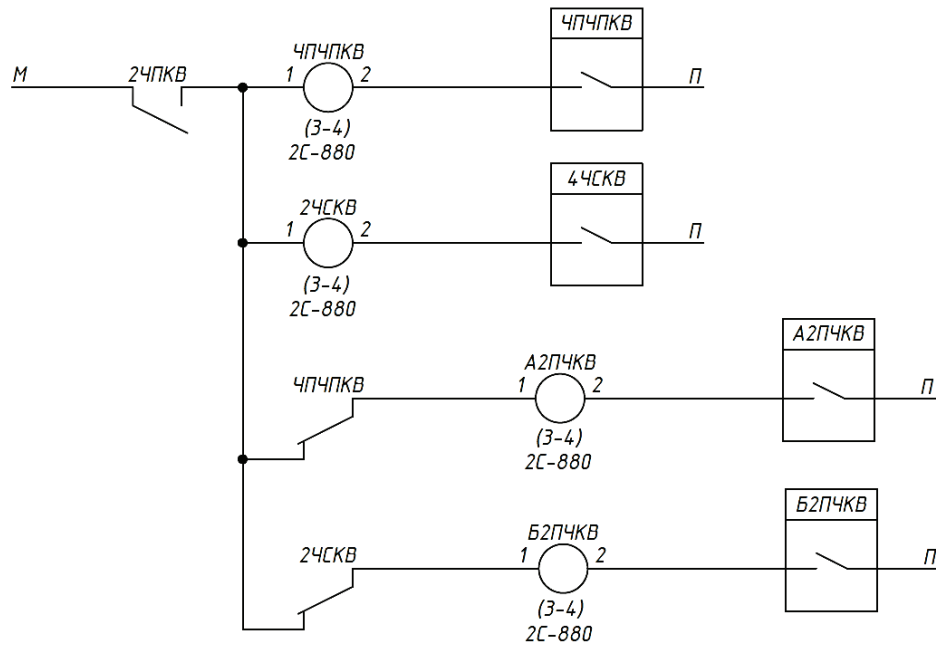


Рис. 3 - Схема индивидуальных кодово-включающих реле

При вступлении поезда на секцию ЧП и закрытии входного светофора Ч (обесточивается реле ЧРУ) реле 2ЧПКВ получает питание через собственный фронтонный контакт и замкнутый ключ 2ЧПКВ.

Цепь питания трансмиттера ГКТ типа ЭКПТ-УС-2"515" замыкается при замыкании ключа ГКТ. Выбор кодов и работа трансмиттерного реле Ч2ГТ определяются контактами сигнальных реле Ч2С1 и Ч2зС в зависимости от показания выходного светофора Ч2 с пути приема.

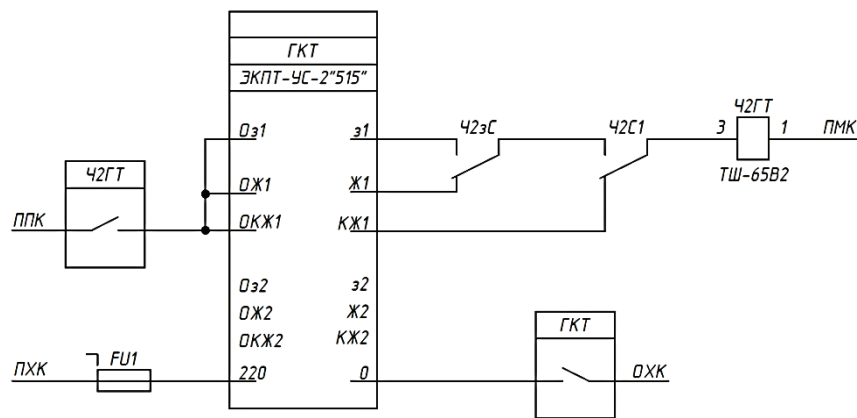


Рис. 3. Трансмиттер ГКТ

Подача кодов в тональные рельсовые цепи осуществляется через фронтонные контакты трансмиттерного реле Ч2ГТ, общего и индивидуальных кодово-включающих реле по принципу предварительного кодирования.

Состояние реле в зависимости от замыкания, размыкания управляющих ключей в маршруте Ч на ИП представлено в таблице 1.

Таблица 1. Замыкание и размыкание ключей при маршруте приема

Ключ	Условия замыкания	Условия размыкания
2ЧПКВ	A2П↑, Б2П↑, Ч1ИП↓	A2П↓
ЧПЧПКВ	A2П↑, Б2П↑, 2ЧПКВ↑, 2СП↑,	2СП↓
2ЧСКВ	A2П↑, Б2П↑, 2ЧПКВ↑, ЧП↓	A2П↓
A2ПЧКВ	Б2П↑, 2ЧПКВ↑, 2СП↓	Б2П↓
Б2ПЧКВ	Б2П↓	Б2П↑
Ч2ГТ	2ЧПКВ↑	Б2П↑
ГКТ	2ЧПКВ↑	Б2П↑

Таким образом, ключи УСО в системе ЭЦ-МПК-У являются особенностью и отличием от предыдущих систем. В зависимости от состояния секций, входящих в маршрут, ключ УСО проверяет все необходимые условия и тем самым заменяет контакты реле.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Учебное пособие для студентов 3-4 курсов по ПМ.01 Построение и эксплуатация станционных, перегонных, микропроцессорных и диагностических систем железнодорожной автоматики МДК 01.02 Теоретические основы построения перегонных систем автоматики и телемеханики / С.В. Осадчук, В.Ф. Иванов; ВТЖТ – филиал ФГБОУ ВО РГУПС. – Волгоград, 2017. – 114 с.
2. Евразия Вести IX 2016. Развитие систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // ТрансЖАТ 2016.
3. Релейно-процессорная электрическая централизация унифицированная ЭЦ-МПК-У. Технические решения [Текст]: ТР-02-200-МПК.У.И1: разработ. ЦКЖТ ПГУПС: утв. Управлением автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» от 19.02.2020 – СПб.: ГУП «Гипротрансигналсвязь», 2020. – 29 с.
4. Могильников Ю.В. Схема контроля очередности работы реле АБТЦ // Вестник транспорта Поволжья. 2019. №1(73). С. 126-130.

# СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Д.С. Романенко, Е.А. Русакова, В.А. Пискулин

## СОЗДАНИЕ СЕТЕЙ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА НА ИНФРАСТРУКТУРЕ ОАО «РЖД» НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LTE

ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС),  
г. Екатеринбург Россия

Ключевые слова: LTE, цифровая железная дорога, стандарты радиосвязи.

В статье рассмотрены основные преимущества и недостатки цифровых стандартов связи, используемых в ОАО «РЖД». Определены основные перспективы и возможности, открывающиеся при создании сетей широкополосного доступа на инфраструктуре ОАО «РЖД» на базе технологии LTE.

Целью данной статьи является выявление основных преимуществ LTE, относительно других стандартов и рассмотрение использования LTE для решения проблем реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога».

D.S. Romanenko, E.A. Rusakova, V.A. Piskulin

## CREATION OF BROADBAND ACCESS NETWORKS ON THE INFORMATION STRUCTURE OF RUSSIAN RAILWAYS JSC ON THE BASIS OF LTE TECHNOLOGY

FSBOU "Ural State University of Railway Transport» (UrGUPS) in Yekaterinburg, Russia

Keywords: LTE, digital railway, radio standards.

The article discusses the main advantages and disadvantages of digital communication standards used in «Russian Railways». The main perspectives and opportunities opened when creating networks broadband access of on the infrastructure of «Russian Railways" on the basis of LTE technology are defined.

The purpose of this article is to identify the main advantages of LTE, of according to other standards and to consider the use of LTE to solve problems of implementation of the comprehensive scientific and technical project "Digital Railway."

Сегодня на Российских железных дорогах реализуется проект «Цифровая железная дорога». Цель проекта – обеспечение устойчивой конкурентоспособности компании на глобальном рынке транспортных и логистических услуг за счёт использования современных цифровых технологий. Под этим термином понимается единый информационный комплекс взаимосвязанных систем обработки данных и систем автоматики в управлении перевозками.

Под ядром формирования технологий цифровой железной дороги следует понимать полную интеграцию интеллектуальных коммуникационных технологий между пользователями, транспортным средством, системой управления движением и инфраструктурой, то есть образование новых сквозных цифровых технологий организации перевозочного процесса [1].

В связи с реализацией проекта, развитие подвижной связи происходит в направлении увеличения скорости передачи данных при уменьшении времени задержки сигнала и обеспечении мобильности абонента. При этом в мире принята условная классификация стандартов и технологий подвижной связи по поколениям, обозначаемым G (generation), которая приведена в таблице 1.



Таблица 1 - Условная классификация стандартов и технологий подвижной связи

Поколение подвижной связи	Начало коммерческой реализации	Основные стандарты и технологии	Основные возможности
0G	Первая половина XX в.	РТТ – режим «прямой» связи между подвижными или подвижным и стационарным абонентскими терминалами	Голосовая связь в симплексном режиме (абонентские терминалы оснащены тангентой)
1G	1980-е гг.	Стандарты аналоговой сотовой и транкинговой связи, не совместимые между собой (отсутствие роуминга при нахождении в сети другого стандарта): NMT, AMPS и др.	Голосовая связь в дуплексном режиме, крайне ограниченная возможность передачи данных (скорость до 2 кбит/с)
2G	1990-е гг.	GSM / CSD / HSCSD / GPRS / EDGE; стандарты цифровой транкинговой связи: TETRA, DMR и др.; системы персональной подвижной спутниковой связи: Globalstar, Iridium и др.; технологии на основе CDMA	Голосовая связь и низкоскоростная передача данных (задержка до 629 мс, скорость до 384 кбит/с)
3G	2000-е гг.	UMTS / HSPA / HSPA+ / LTE; IEEE 802.16e(-2005) / IEEE 802.16-2009 («Mobile WiMAX»)	Голосовая связь и высокоскоростная передача данных
4G	2010-е гг.	LTE-Advanced / LTE-Advanced Pro; IEEE 802.16m («Mobile WiMAX 2»)	Обеспечение высокой скорости и качества голосовой связи и передачи данных при полной мобильности абонента
5G	2020-е гг.	Совокупность технологий под общим брендом «5G»	Реализация возможностей IoT, Big Data и др.

Развитие технологической радиосвязи на ОАО «РЖД» также не стоит на месте. Традиционно железнодорожная технологическая радиосвязь строится с использованием собственных радиосетей, функционирующих в диапазоне гектометровых (2 МГц) и метровых (160 МГц) волн. Это аналоговые стандарты радиосвязи. Но сейчас идет активный переход на цифровые стандарты, функционирующие в диапазоне дециметровых и метровых волн, которые получили название DMR, GSM-R. Описание основных стандартов радиосвязи, используемых в ОАО «РЖД», представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Описание основных стандартов радиосвязи, используемых в ОАО «РЖД»

Диапазон	Спектр	Название	Использование	Вид
Гектометровый	2 МГц	КВ	Линейные и зонные сети поездной радиосвязи	ПРС-С
Метровый	160 МГц	УКВ	Станционная связь. Линейные и зонные сети поездной радиосвязи.	СРС ПРС-С
Дециметровый	900 МГц	ДМВ	Станционная связь. Линейные и зонные сети поездной радиосвязи.	GSM-R
Метровый	160 МГц	УКВ	Станционная связь. Линейные и зонные сети поездной радиосвязи, передача данных	DMR

Стандарты GSM – R и DMR являются европейскими стандартами цифровой радиосвязи, разработанные Европейским институтом телекоммуникационных стандартов ETSI. Позиционируются как открытые стандарты т.е. предполагается совместимость аппаратуры всех производителей.

GSM-R внедряется на участках скоростного и высокоскоростного движения.

Система GSM-R задействована на участке Туапсе – Сочи – Адлер – Альпика Сервис – Веселое. Длина этого участка составляет 152 км. Внедрение GSM-R позволило обеспечить во время зимней Олимпиады трафик 112 пар электропоездов «Ласточка» в сутки с 6-минутным средним межпоездным интервалом.

Промышленное применение цифровой станционной радиосвязи стандарта DMR организовано на участках Владимир – Ковров Горьковской дороги, Екатеринбург – Чепца Свердловской дороги, на станции Бекасово Сортировочное Московской дороги.

Стандарты DMR и GSM-R имеют ряд преимуществ по сравнению с аналоговыми системами:

- Увеличение дальности связи
- Улучшение качества звука

- Возможность передачи данных
- Экономия частотного ресурса
- Реализация индивидуального и аварийного вызова
- Достаточный уровень защиты информации

Но имеются и **существенные недостатки**, такие как:

- Низкая скорость передачи данных (9,6 кбит/с), как следствие невозможность передачи данных в режиме реального времени
- Малая пропускная способность (до 14,4 кбит/с)
- Длительное время установления соединения

Рассмотренные стандарты, не могут обеспечить объемы информации, которая необходима для реализации новых сервисов в рамках цифровой железной дороги. [2]

Для решения возникших проблем железнодорожная отрасль стремится к стандарту LTE, чтобы заменить DMR и GSM-R для удовлетворения потребностей в передаче данных. Для наглядности основные сравнительные показатели стандартов приведены в таблице 3. Из таблицы видно, что LTE, по всем показателям превосходит другие цифровые стандарты, но хотелось бы отметить преимущество LTE в скорости передачи данных, времени установления соединения, задержки на передачу информации, количестве каналов при максимально возможной скорости передвижения состава. Еще одним преимуществом стандарта является возможность взаимодействия со стандартами GSM, UMTS, и CDMA2000 без дополнительных действий, т.е. пользователи могут начать вызовы или передачу данных в области с наличием LTE, а покинув эту область продолжить работать в сетях GSM/GPRS

Таблица 3 – Сравнительные показатели цифровых стандартов

Показатель	GSM-R	DMR	LTE
Диапазон, МГц	876-880; 921-925 МГц	151.7125-154.0125; 154.9875-156.0125	1785 – 1805 МГц
Время установления соединения, с	5, аварийный – до 2	До 0,2	25 мс
Задержка на передачу информации, мс	300–500	300–500	5
Скорость речевого сигнала, кбит/с	13 кбит/с	3,5 кбит/с	75,4 Мбит/с
Скорость передачи данных:	9,6 кбит/с	9,6 кбит/с	от 75,4 Мбит/с для восходящего и 299,6 Мбит/с для нисходящего соединения
Максимальная скорость подвижного состава, км/ч	350 (500 в лабораторных условиях)	200	350-500
Минимально необходимая полоса частот для обеспечения работы одной базовой станции	200кГц	12,5кГц	180 кГц
Количество каналов	8	2	200 голосовых
Вероятность успешной передачи соединения	0,995	0,995	0,999
Совместимость с аналоговым оборудованием	-	+	-

Стоимость перехода от аналога к цифре	Очень высокая	Умеренная	Требуется разработка технических решений для оценки стоимости
---------------------------------------	---------------	-----------	---

LTE – (Long Term Evolution в переводе на русский язык - долгосрочная эволюция) - это стандарт беспроводной высокоскоростной связи широкополосного доступа с возможностью организации транкинговой голосовой радиосвязи и беспроводной передачи данных в режиме реального времени в том числе видео.

Данные, передаваемые при помощи LTE, разделяются на три потока – пользовательский, служебный и диспетчерский. Одной из особенностей сети LTE является приоритет служебных и диспетчерских данных – ширина всех каналов регулируется динамически, однако в случае возникновения нештатных ситуаций сеть сужает поток, выделенный для пользователей, для того, чтобы лучше передавать данные разнообразных систем безопасности, например, камер видеонаблюдения, команд диспетчерского аппарата и др. За счет этого, обеспечиваются быстрая, надежная связь и сигнализация и преодоление проблем с использованием сети LTE на высоких скоростях.

LTE базируется на трех основных технологиях: мультиплексирование посредством ортогональных несущих OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), многоантенные системы MIMO (Multiple Input Multiple Output) и эволюционная системная архитектура сети (System Architecture Evolution).

Многоантенные системы MIMO (Multiple Input Multiple Output – множественный вход множественный выход) – это технология, используемая в беспроводных системах связи, позволяющая значительно улучшить спектральную эффективность системы, максимальную скорость передачи данных и емкость сети. Главным способом достижения указанных выше преимуществ является передача данных от источника к получателю через несколько радио соединений. Это осуществляется за счёт установки в одной системе (коробе) двух антенн, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. Они одновременно принимают и передают сигнал через два отдельных кабеля к приемнику. Обычно устанавливается равное число антенн на входе и выходе системы, т.к. в этом случае достигается максимальная скорость передачи данных.

Простейшая антенна MIMO состоит из двух вибраторов, расположенных под углами +45 и -45 градусов относительно вертикальной оси. Это позволяет одновременно передавать сигналы с одинаковыми несущими частотами, но с разными видами модуляции, что приводит к удвоению пропускной способности радиоканала.

В таблице 4 приведен перечень информационных и управляющих технологий на станциях, реализуемых во взаимодействии с сетями LTE. [3]



Таблица 4 - Перечень технологий, требующих использования стандарта LTE.

№	Информационные технологии
1	Система передачи «ответственной» информации на подвижные объекты по цифровому радиоканалу
2	Цифровая система комплексного автоматического управления движением поездов
3	Определение координат нахождения подвижного состава
4	Система интервального регулирования движения поездов на перегонах и станциях
5	Автоматизация технологического процесса ограничения скорости движения поездов
6	Передача информации по радиоканалу для кодирования станционных путей
7	Автоматизированное управление сортировочной станцией
8	Диагностика инфраструктуры и подвижного состава
9	Маневровая автоматическая локомотивная сигнализация (МАЛС)
10	Мониторинг объектов инфраструктуры и подвижного состава, в том числе с использованием стандарта NB-IoT
11	Реализация мобильного рабочего места
12	Передача видео с борта подвижного состава в режиме реального времени

На заседании Государственной комиссии по радиочастотам от 11 сентября 2018 г. было рассмотрено и принято решение о выделении ОАО «РЖД» полосы частот 1785 - 1805 МГц для организации связи стандарта LTE, а также был сформирован перечень станций, подлежащих проектированию системы широкополосного доступа на базе стандарта LTE на 2019 г. [4].

Внедрение LTE начнется с узловых станций, на которых присутствуют множество абонентов. Это позволит оценить эффективность использования стандарта и при положительных результатах, продолжить внедрение стандарта LTE на перегоны.

На рисунке 1 представлен пример схемы организации связи на базе стандарта LTE на железнодорожной станции. На схеме изображены 6 антенно - мачтовых сооружений, объединенных волоконно-оптическим кабелем. Таким образом на станции имеется 6 сот, которые обеспечивают надежное покрытие связью стандарта LTE.

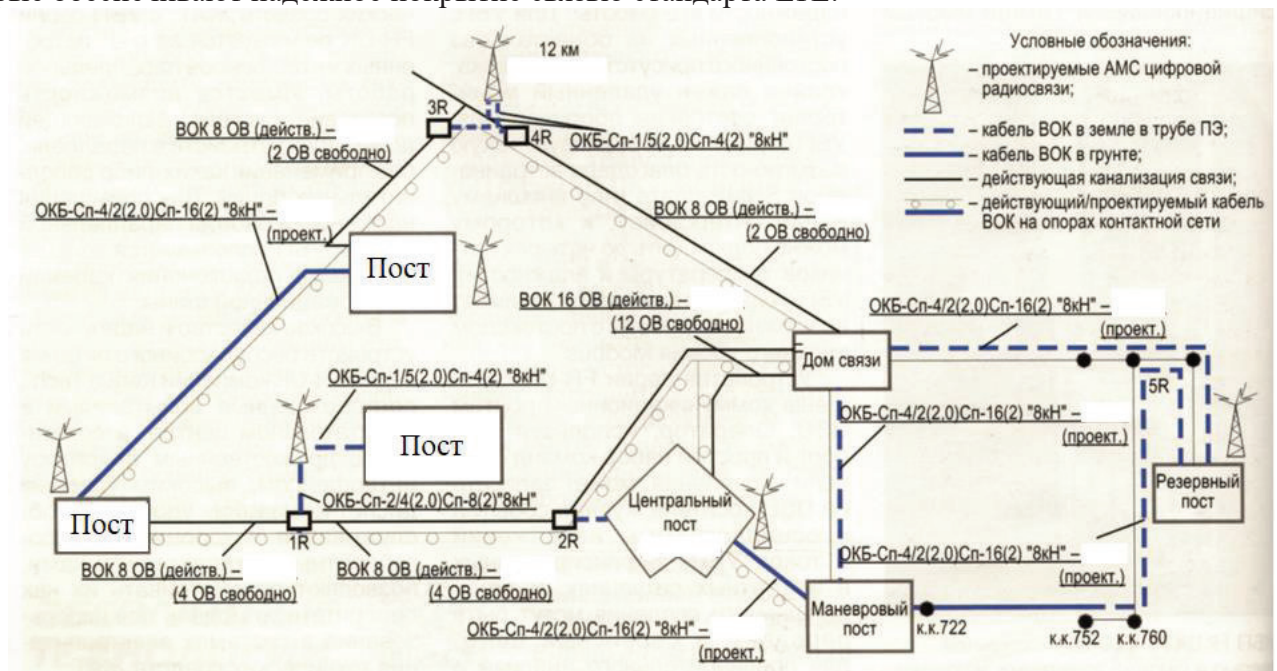


Рис. 1 - Схема организации связи на базе стандарта LTE на железнодорожной станции

Для реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога» есть необходимость внедрять новые группы сервисов, которые увеличат объемы передаваемой информации. Несмотря на все преимущества существующих сетей DMR и GSM-R, они не могут обеспечить передачу требуемых объемов информации для внедрения новых технологий, т.к. их пропускная способность недостаточна. Решением проблемы может стать внедрение стандарта LTE, который значительно превосходит существующие стандарты в скорости, малой задержке при передаче данных, возможности организации связи при скоростях движения 350-500 км/ч. Для расчета экономического эффекта от создания системы широкополосного доступа стандарта LTE требуется разработка технических решений и оценка стоимости строительства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровая железная дорога: настоящее и будущее. URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?I=1348652>
2. Протасова Е.А. Темлякова Л.А. Организация информационного обмена по цифровым сетям. Цифровая железная дорога и переход к сетям LTE-R и 5G-R: сб. науч. тр. студентов/[под науч. ред. С.В. Бушуева, канд. техн. наук]. Екатеринбург: УрГУПС, 2018. -Вып. 2(233). С 124-130
3. Протокол совещания у начальника департамента информатизации ОАО «РЖД» Семиона К.В. от 16 января 2019 г.
4. Протокол заседания Государственной комиссии по радиочастотам от 11 сентября 2018 г. № 18-46.

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. **Александрова (Трухина) Анастасия Ивановна**, студентка факультета элитного образования и магистратуры Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск, Россия
2. **Баранов Сергей Анатольевич**, доцент кафедры Общепрофессиональных дисциплин технических специальностей Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), канд.тех.наук
3. **Батенков Кирилл Александрович**, сотрудник Академии Федеральной службы охраны России, г. Орёл, Россия, докт.тех.наук, доцент
4. **Бездверный Сергей Александрович**, преподаватель Хабаровского института инфокоммуникаций (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Хабаровске (ХИИК СибГУТИ)
5. **Бизяев Артём Владимирович**, магистрант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
6. **Богачков Игорь Викторович**, доцент кафедры «Средства связи и информационная безопасность» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск, Россия, канд.тех.наук
7. **Брагин Кирилл Игоревич**, методист кафедры Высшей математики и физики, магистрант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
8. **Будылдина Надежда Вениаминовна**, доцент кафедры Общепрофессиональных дисциплин технических специальностей Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), канд.тех.наук
9. **Бурина Татьяна Александровна**, магистрант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
10. **Головачёв Владимир Юрьевич**, сотрудник Академии Федеральной службы охраны России, г. Орёл, Россия, канд.тех.наук, доцент
11. **Горлов Николай Ильич**, профессор ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ), заведующий кафедрой «Линии связи», докт.тех.наук
12. **Горай Айгуль Олеговна**, студентка Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
13. **Гусева Юлия Олеговна**, магистрант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
14. **Гундырев Константин Вячеславович**, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на ж.д. транспорте» ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС)
15. **Дерр Александр Юрьевич**, магистрант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
16. **Долинер Леонид Исаевич**, профессор кафедры Информационных систем и технологий Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), докт.пед.наук
17. **Евдокимов Михаил Сергеевич**, магистрант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)



18. **Егорова Анастасия Николаевна**, магистрант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
19. **Заболоцкий Александр Михайлович**, профессор кафедры телевидения и управления (ТУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники в г. Томске, (ТУСУР), докт.тех.наук, доцент
20. **Земцов Андрей Николаевич**, доцент кафедры ЭВМиС Волгоградского государственного технического университета (ВолГТУ)
21. **Калмыкова Дарья Дмитриевна**, аспирантка Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)
22. **Квиткова Ирина Геннадьевна**, ст. преподаватель кафедры передачи дискретных сообщений и метрологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)
23. **Кенжегулова Зарина Муратбековна**, магистрант Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники в г. Томске (ТУСУР)
24. **Комисарчук Николай Александрович**, студент радиотехнического факультета Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск, Россия
25. **Красулин Георгий Алексеевич**, магистрант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
26. **Коровин Илья Владиславович**, студент Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
27. **Куанышев Валерий Таукенович**, доцент кафедры Высшей математики и физики Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), канд.физ.-мат.наук
28. **Куксенко Сергей Петрович**, доцент Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники в г. Томске (ТУСУР), канд.тех.наук
29. **Кусайкин Дмитрий Вячеславович**, доцент кафедры Многоканальной электросвязи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), канд.тех.наук
30. **Кутенин Владимир Сергеевич**, заведующий лабораториями кафедры Общепрофессиональных дисциплин технических специальностей Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
31. **Кушнин Виталий Евгеньевич**, магистрант ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)
32. **Максимов Александр Евгеньевич**, аспирант Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники в г. Томске (ТУСУР)
33. **Микишев Илья Николаевич**, магистрант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
34. **Могильников Юрий Валерьевич**, ассистент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на ж.д. транспорте», ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС)
35. **Нифонтова Анна Сергеевна**, студентка Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
36. **Обвинцев Олег Александрович**, доцент кафедры Информационных систем и технологий Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), канд.тех.наук
37. **Овчинников Дмитрий Александрович**, аспирант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

38. **Онищенко Иван Андреевич**, студент Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники в г. Томске (ТУСУР)
39. **Пискулин Валерий Александрович**, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС)
40. **Поршнев Сергей Владимирович**, профессор кафедры Общепрофессиональных дисциплин технических специальностей Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), докт.тех.наук
41. **Романенко Дмитрий Сергеевич**, студент электротехнического факультета ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС)
42. **Рудометова Елизавета Сергеевна**, студентка магистратуры Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
43. **Русакова Елена Александровна**, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС), канд.тех.наук
44. **Соловаров Илья Владимирович**, ст. преподаватель кафедры Многоканальной электросвязи Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
45. **Сухоев Алексей Павлович**, аспирант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
46. **Тугов Илья Борисович**, студент радиотехнического факультета Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск, Россия
47. **Трофимов Дмитрий Александрович**, студент Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
48. **Турицын Александр Андреевич**, инженер Волгоградского государственного технического университета (ВолГГТУ)
49. **Хурматов Роман Ильдарович**, аспирант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
50. **Чан Зунг Хань**, преподаватель Национального экономического университета (НЭУ), г. Ханой, Вьетнам
51. **Черникова Евгения Борисовна**, аспирант, младший научный сотрудник Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники в г. Томске (ТУСУР)
52. **Чистяков Сергей Владимирович**, сотрудник Академии Федеральной службы охраны России, г. Орёл, Россия, канд.тех.наук, доцент
53. **Чукаева Регина Юрьевна**, студентка ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС)
54. **Уткин Константин Борисович**, магистрант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
55. **Феофанов Максим Александрович**, преподаватель кафедры Информационных систем и технологий\_Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
56. **Шарафутдинова Луиза Вафировна**, студентка радиотехнического факультета Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск, Россия
57. **Шарлаимова Влада Валерьевна**, студентка ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС)
58. **Шувалов Вячеслав Петрович**, профессор кафедры передачи дискретных сообщений и метрологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций

- и информатики» (СибГУТИ), докт.тех.наук
59. **Юрченко Евгения Владимировна**, аспирант Уральского технического института связи и информатики (филиала) ФГБОУ ВО «СибГУТИ» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Александрова (Трухина) А.И.	83	Кушнин В.Е.	103
Баранов С.А.	50	Максимов А.Е.	34
Батенков К.А.	78,80	Микишев И.Н.	37
Бездверный С.А.	122	Могильников Ю.В.	148
Бизяев А.В.	5	Нифонтова А.С.	71
Богачков И.В.	83,89,94,98,107	Обвинцев О.А.	10
Брагин К.И.	137	Овчинников Д.А.	50
Будылдина Н.В.	13,17,37,62,114,134,137	Онищенко И.А.	34
Бурина Т.А.	10,126	Пискулин В.А.	152
Головачёв В.Ю.	78	Поршнев С.В.	129
Горлов Н.И.	103,107	Романенко Д.С.	152
Горай А.О.	13	Рудометова Е.С.	74
Гусева Ю.О.	17	Русакова Е.А.	152
Гундырев К.В.	144	Соловаров И.В.	134
Дерр А.Ю.	54	Сухоев А.П.	129
Долинер Л.И.	126	Тугов И.Б.	94
Евдокимов М.С.	10,126	Трофимов Д.А.	110
Егорова А.Н.	141	Турицын А.А.	42
Заболоцкий А.М.	29	Хурматов Р.И.	134
Земцов А.Н.	42	Чан Зунг Хань	42
Калмыкова Д.Д.	22	Черникова Е.Б.	29
Квиткова И.Г.	26,45,66	Чистяков С.В.	78
Кенжегулова З.М.	29	Чукаева Р.Ю.	144
Комисарчук Н.А.	89,98	Уткин К.Б.	58
Красулин Г.А.	114	Феофанов М.А.	141
Коровин И.В.	137	Шарафутдинова Л.В.	89,98
Куанышев В.Т.	54,58,74	Шарлаимова В.В.	148
Куксенко С.П.	34	Шувалов В.П.	22,45,66
Кусайкин Д.В.	5	Юрченко Е.В.	62
Кутенин В.С.	71,110		