

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

**VII НАУЧНЫЙ ФОРУМ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ:
ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
ТТТ-2024**

XXII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ
ОТТ-2024**



06 – 08 ноября 2024 г.

САМАРА
2024

УДК 621.391
ББК 32.811
П78

П78 «Оптические технологии в телекоммуникациях» ОТТ-2024
Материалы XXII Международной научно-технической конференции
(г. Самара, 06 – 08 ноября 2024 г.). – Самара: ПГУТИ, 2024. – 221 с.

ISBN 978-5-907336-70-4

Приводятся материалы XXII Международной научно-технической конференции «Оптические технологии в телекоммуникациях» ОТТ-2024, проводившейся 06 – 08 ноября 2024 г. в ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Самара, Россия.

УДК 621.391
ББК 32.811

ISBN 978-5-907336-70-4

© Коллектив авторов, 2024
© ПГУТИ,
оформление, 2024



XXII Международная научно-техническая конференция «**Оптические технологии в телекоммуникациях**» **ОТТ-2024**
06 – 08 ноября 2024 г., Самара, ПГУТИ

Организационный комитет конференции ОТТ

Сопредседатели:

- Дашков М.В. ПГУТИ, Самара, РФ
- Бурдин А.В. АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова», Санкт-Петербург, ПГУТИ, Самара, РФ
- Морозов О.Г. КНИТУ–КАИ, Казань, РФ
- Султанов А.Х. УУНиТ, Уфа, РФ

Члены комитета:

- Аглиуллин А.Ф. ООО «МФС», Казань, РФ
- Бабин С.А. Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения РАН, Новосибирск, РФ
- Багманов В.Х. УУНиТ, Уфа, РФ
- Виноградова И.Л. УУНиТ, Уфа, РФ
- Габитов И.Р. Сколтех, Москва, РФ
- Глейм А.В. ОАО «РЖД», Москва, РФ
- Гордеев Е.Н. ЮНИ, Москва, РФ
- Григоров И.В. ПГУТИ, Самара, РФ
- Драчев В.П. Сколтех, Москва, РФ
- Дукельский К.В. АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова», Санкт-Петербург, РФ
- Желтиков А.М. МГУ, РКЦ, Москва, РФ
- Ильин Г.И. КНИТУ–КАИ, Казань, РФ
- Казанский Н.Л. ИСОИ НИЦ «Курчатовский Институт», Самарский университет, Самара, РФ
- Карташевский В.Г. ПГУТИ, Самара, РФ
- Кузнецов А.А. КНИТУ–КАИ, Казань, РФ
- Моисеев С.А. КНИТУ-КАИ, КФТИ, ККЦ, Казань, РФ
- Морозов Г.А. КНИТУ–КАИ, Казань, РФ
- Надеев А.Ф. КНИТУ-КАИ, Казань, РФ
- Наний О.Е. МГУ имени М.В. Ломоносова, Т8, Москва, РФ

- Нуреев И.И. КНИТУ–КАИ, Казань, РФ
- Осипов О.В. ПГУТИ, Самара, РФ
- Раевский А.С. НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, РФ
- Салихов А.И. УУНиТ, Уфа, РФ
- Сахабутдинов А.Ж. КНИТУ–КАИ, Казань, РФ
- Сингх Г. Национальный технологический институт Малави, Джайпур, Индия
- Тивари М. Манипал Университи Джайпур, Раджастхан, Индия
- Турицын С.К. НГУ, Новосибирск, РФ
- Федорук М.П. НГУ, Новосибирск, РФ
- Шипулин А.В. Сколтех, Москва, РФ

Секции конференции ОТТ

1. Технологии оптических систем телекоммуникаций.

Сопредседатели: Кузнецов А.А., Никулина Т.Г.

2. Пассивные и активные оптические компоненты волоконно-оптических линий связи и информационно-измерительных систем.

Сопредседатели: Бурдин А.В., Попов В.Б.

3. Обработка одномерных и многомерных оптических сигналов.

Сопредседатели: Сахабутдинов А.Ж., Григоров И.В.

4. Техническое обслуживание, контроль и восстановление оптических сетей связи.

Сопредседатели: Кузнецов А.А., Никулина Т.Г.

5. Проблемы подготовки специалистов в области оптической связи.

Сопредседатели: Натарова Е.П., Яблочкин К.А.

6. Передовые технологии оптической связи.

Сопредседатели: Кузнецов А.А., Никулина Т.Г.

7. Микроволновая фотоника.

Сопредседатели: Кутлюяров Р.В., Аглиуллин Т.А.

8. Квантовые технологии в инфокоммуникациях.

Сопредседатели: Егоров В.И., Дашков М.В.

Организаторы конференции



Поволжский
государственный
университет
телекоммуникаций и
информатики



Казанский национальный
исследовательский
технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ



УФИМСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Уфимский университет
науки и технологий

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

**К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУНКЦИИ ЧИРПА
ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ
В ОПТИЧЕСКОМ КАНАЛЕ СИСТЕМ СВЯЗИ**

Виноградова И.Л.¹, Головина Е.Ю.², Султанов А.Х.¹

(¹Уфимский университет науки и технологий,

*²Институт нефтепереработки и нефтехимии Уфимского
государственного нефтяного технического университета)*

В ряде современных систем связи (IoT, PoT, SDN [1]) имеет место значительное увеличение процессов обмена информацией. Перенос управления на нижестоящие уровни модели OSI может помочь снизить задержки и повысить эффективность управления.

В контексте нереляционного управления [2], внедрение дополнительных параметров в физическом уровне для передачи управляющей информации действительно представляет интерес. Это может включать в себя использование свойств оптических импульсов: амплитуда, длина волны, поляризация или даже частотная модуляция (чирпирование). Это особенно полезно в приложениях, связанных с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) и телеметрией, где необходима скорость и надежность передачи данных. С этой точки зрения предложено использовать функцию чирпа оптических импульсов, или то же – функцию изменения мгновенной длины волны оптического сигнала (ФИМД), но не для задач физического уровня, как это хорошо известно в настоящее время, а для задач канального (сетевого) уровней [3]. Предлагается управлять фазированной антенной решеткой (ФАР) посредством ФИМД с применением разработанных авторами оптических компонентов [4, 5] (Рис. 1).

Схема может применяться как для задач радиолокации, так и в случае управления роем БПЛА. Чирпирование $C(T)$ может вноситься в сигнал как в области ФАР (пример схемы на рисунке), так и передаваться по непротяженному городскому сегменту. Преобразователь [4] обеспечит неравноамплитудное возбуждение ФАР в зависимости от $C(T)$, что обеспечит возможность получить разнообразные формы и направления диаграмм направленности. В частности, для локации короткие импульсы не потребуются передавать удаленно, их можно сформировать непосредственно перед ФАР, а значит, они скорее не будут уширены. Это может быть обеспечено применением Ethernet-пакетов 0, 1, 0, 1, 0...

Предложенный способ управления ФАР управляющее воздействие не требует выделенного у канала. Кроме того, если речь идет об управлении

динамическим объектом посредством ФАР, например, роом БПЛА, то метод позволяет перенести часть функций из радиосегмента «на землю».

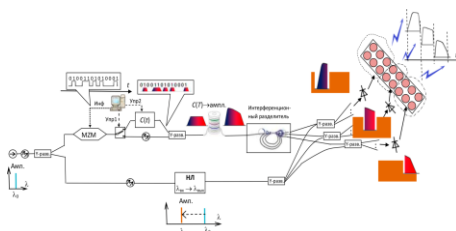


Рис. 1. Схема управления ФАР на волоконно-оптической линии передачи с ФИМД-сигналами

1. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2005. 304 с.
2. Mukherjee V. Optical Communication Networks. Mc.Graw-Hill, 2005. 576 p.
3. Метод управления сегментом RoF-сети с применением chirпированных оптических импульсов / И.Л. Виноградова [и др.] // Научное издание. 2023. Т. 24, № 5. С. 37–52.
4. Преобразователь chirп→амплитуда на базе эрбиевого волоконно-оптического усилителя для управления радиофотонными системами / И.Л. Виноградова [и др.] // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2019. Т. 22, № 4-2. С. 129–137.
5. Устройство для разветвления и chirпирования оптических сигналов: патент на полезную модель 163995. Российская Федерация. № 2016103991 / Г.И. Абдрахманова (RU), А.В. Андрианова (RU), И.Л. Виноградова (RU), Е.П. Грахова (RU), А.Р. Зайнуллин (RU), А.А. Ишмияров (RU), И.К. Мешков (RU), А.Х. Султанов (RU), Р.Ю. Чириков (RU); заявл. 08.02.2016; опубл. 20.08.2016.

ON THE ISSUE OF USING THE CHIRP FUNCTION FOR CONTROL TASKS IN THE OPTICAL CHANNEL OF COMMUNICATION SYSTEMS

Vinogradova I.L.¹, Golovina E.Y.², Sultanov A.H.¹

(¹Ufa University of Science and Technology,

²Institute of Oil Refining and Petrochemistry Ufa State Petroleum Technological University)

The paper presents an approach to constructing an optical information channel, the control of which is carried out using the chirp function. To implement this, specialized optical components are used. The chirp function is not currently used to transmit information. This means that its use will save telecommunications resources.

**МЕТОД ДВУХ ВОЛОКОН И ЕГО МОДЕРНИЗАЦИЯ.
ПОЛНОЕ РЕШЕНИЕ ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ,
ОПРЕДЕЛЕННОЙ ПРИРОДОЙ
ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ**

Морозов О.Г.¹, Артемьев В.И.¹, Белов Э.В.¹,

Бурдин А.В.², Дукельский К.В.³, Тивари М.⁴

*(¹Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, ²Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, ³Санкт-Петербургский университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,
⁴Manipal University Jaipur)*

Метод двух волокон с записанными в каждом из них волоконными брэгговскими решетками (ВБР) для одновременного измерения температуры и деформации некоторого материала, в который они встроены, основан на двух предположениях. Первое – волокна обладают существенно различной чувствительностью к деформации и/или температуре. Второе – реакция обеих ВБР на температуру и деформацию может быть описана суммой независимых функций отклика. Задача – расширить возможности метода и для выполнения функций рефрактометра, как третьей функции, определенной природой ВБР.

Необходимость модернизации. Точность измерений температуры и деформации с использованием любого из этих датчиков в основном зависит от обусловленности системной матрицы, которая формируется чувствительностью датчика к деформации и температуре, а также разрешением по длине волны системы интеррогатора. К сожалению, датчики с двумя ВБР не образуют хорошо обусловленную системную матрицу, поскольку чувствительность волоконных решеток к деформации и температуре на стандартных рабочих длинах волн изменяется очень мало, что приводит к большим числам состояний, которые, в свою очередь, вносят большие ошибки в измеренные значения. Однако можно частично компенсировать ошибки в плохо обусловленной системе датчиков с помощью методов измерения длины волны с высоким разрешением. Направления поиска путей повышения точности измерений определены вышеуказанными предположениями, лежащими в основе метода двух волокон.

Первый вариант модернизации определяется конструктивными решениями для выбора оптимальной чувствительности волокон и ВБР к температуре и деформации, а второй вариант модернизации программными – для прецизионной обработки сигналов о центральных

длинах ВБР, из которых извлекается информация о двух одновременных физических воздействиях.

К существующим конструктивным решениям можно отнести следующие. Различные коэффициенты деформации могут быть получены путем использования решеток, записанных в двух разных волокнах с разными диаметрами. Различные температурные коэффициенты могут быть получены при записи ВБР отдельно в германосиликатных и боросиликатных волокнах. Различные коэффициенты по обоим параметрам могут быть получены с использованием различных видов записи ВБР различных типов – в сердцевине, в оболочке, в сердцевине, оболочке и на поверхности шлифованного D-волокна. Однако эти подходы требуют много времени и высокого уровня квалификации специалистов для их реализации.

Существующие программные решения основаны на том, что точность определения температуры и деформации прямо пропорциональна погрешности в определении положения резонансных пиков ВБР и обратно пропорциональна разнице их температурных коэффициентов чувствительности. По данному утверждению можно оценивать нижний предел по точности определения температуры и деформации. Он определяется точностью нахождения положения центральных длин волн решеток, которая, в свою очередь, обеспечивается применяемым интеррогатором. К известным решениям относятся применение полуэмпирической теории Гоша, линейной, линейной с учётом перекрестного коэффициента чувствительности и квадратичной моделей для получения соотношения для расчёта погрешности одновременного определения деформации и температуры методом двух оптических волокон. При использовании нелинейной модели получено повышение точности измерений в два раза выше для результатов, полученных с использованием оптико-электронного интеррогатора. Однако абсолютная погрешность измерений по температуре при этом не выходит за пределы единиц градусов. Близкий уровень в единицы процентов соответствует и измерениям деформаций.

В данном докладе для первого и второго вариантов модернизации предложен комбинированный радиофотонный подход, основанный на том, что ВБР в волокнах заменяются на адресные волоконные брэгговские структуры (АВБС), оптико-электронные интеррогаторы заменяются на радиофотонные, а для обработки полученных радиочастотных сигналов, несущих информацию о сдвиге центральных длин волн АВБС применяется модель измерения коэффициента модуляции или быстрое преобразование Фурье всех спектральных составляющих биений между компонентами

АВБС. При этом информация о частоте биений выделяется в первом случае с помощью микроволновых фильтров, во втором – программно.

АВБС называется такая структура в оптическом волокне, которая удовлетворяет следующему набору требований. При направлении на неё широкополосного лазерного излучения с равномерной амплитудно-частотной характеристикой она в оптическом диапазоне формирует отраженный двухчастотный сигнал, разность между частотами которого много меньше несущих оптических частот и находится в радиочастотной области спектра. Разностная частота между двумя частотными составляющими инвариантна к воздействию физических полей и не меняется при смещении центральной длины волны АВБС. Полная ширина на половине высоты спектральных составляющих, образующих двухчастотный отклик, одинакова и меньше разностной частоты. Установив перед фотоприемником оптический фильтр с наклонной частотной характеристикой можно получить биения составляющих на адресных частотах, различных для первого и второго волокна, у которого будет меняться коэффициент модуляции в зависимости от изменения температуры или деформации. Фотоприемник и оптический фильтр с дискретными микроволновыми фильтрами на адресные частоты и представляет структуру радиофотонного интеррогатора. Дискретные фильтры могут быть заменены на программные фильтры Фурье. Оценки погрешности измерений температуры и деформаций показывают возможность их уменьшения на порядок.

Третий вариант модернизации при использовании вместо ВБР АВБС и радиофотонных методов их опроса может быть основан на изготовлении из волокна одного типа, а дисперсионные оптические фильтры перед фотоприемниками радиофотонного интеррогатора должны иметь различный наклон, создавая разный отклик к температуре и деформации. Ошибка составит – 1%.

И, наконец, главный, четвертый вариант модернизации основан на применении вместо сенсоров на основе классических телекоммуникационных волокон сенсоров на основе кварцевого скрученного шестисердцевинного микроструктурированного оптического волокна (МОВ) с легированием GeO_2 .

Задачи модернизации заключаются в выборе структуры «двух волокон», состоящей из половин скрученного шести-сердцевинного МОВ, записи в них АВБС различного типа, а также возможности на его основе создания рефрактометра. В настоящий момент известна реализация на его основе биосенсора поверхностного плазмонного резонанса, состоящая из покрытого золотом МОВ с согласованием фаз для широкого диапазона показателей преломления 1,37 – 1,41.

Полный набор результатов решенных задач и коллектив авторов, принявший участие в их постановке и решении, будут представлены в докладе.

**TWO-FIBER METHOD AND ITS UPGRADE
COMPLETE SOLUTION OF A THREE-PARAMETRIC PROBLEM
DEFINED BY THE NATURE OF A FIBER BRAGG GRATING**

Morozov O.G.¹, Artemyev V.I.¹, Belov E.V.¹,

Burdin A.V.², Dukelsky K.V.³, Tiwari M.⁴

*(¹Kazan National Research Technical University named after
A.N. Tupolev-KAI, ²Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics, ³Saint Petersburg University of Telecommunications named after
M.A. Bonch-Bruевич, ⁴Manipal University Jaipur)*

The method of two fibers with fiber Bragg gratings is widely used in practice for simultaneous measurement of temperature and deformation of some material in which they are embedded. Modernization of the method is proposed in order to increase the accuracy of temperature and deformation measurements by one order of magnitude. The goal is achieved by using radio-photonic technologies for processing measuring optical signals in the radio frequency range and using sensors adapted to them – addressable fiber Bragg gratings. More exclusive upgrade with the use of silica twisted six-GeO₂-doped core microstructured optical fiber can help us to find complete decision of a three-parametric problem defined by the properties of a fiber Bragg grating. So, we can use it for simultaneous measurement of temperature and deformation with refractive index of medium. The full set of results of the solved problems and the team of authors who took part in their formulation and solution will be presented in the report.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И КВАНТОВАЯ СЕНСОРИКА

Гребешков А.Ю.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Квантовые фотонные нейронные сети есть вариативные фотонные схемы, которые могут быть обучены выполнять квантовые операции с высокой точностью. До настоящего времени в качестве модели рассматривались идеализированные компоненты, включая идеальную π нелинейность Керра. На практике квантовые фотонные нейронные сети имеют потери фотонов, несовершенную маршрутизацию и слабую нелинейность. С помощью анализатора состояния Белла можно показать, что имеется оптимальный размер сети, который компенсирует несовершенства и нелинейности. Фотонная сеть, изготовленная с помощью современных процессов, может достичь безусловной верности 0,891, которая увеличивается до 0,999999, если можно предварительно обусловить успех обнаружением фотона в каждом логическом фотонном кубите. Это позволяет создать квантовые фотонные устройства для квантового машинного обучения КМО (Quantum Machine Learning, QML) [1]. КМО объединяет машинное обучение с квантовыми вычислениями и квантовыми (фотонными) сетями, является быстро развивающейся областью знаний. Основная цель КМО состоит в улучшении эффективности традиционного машинного обучения за счет использования характеристик квантовых вычислений, таких как принцип суперпозиции. Двумя наиболее значимыми проблемами квантовых вычислений являются ограниченное количество доступных кубитов, а также высокий уровень фонового шума, который возникает каждый раз, когда используется квантовая модель вычислений.

Несмотря на использование таких понятий квантовой физики, как квантовая запутанность и суперпозиция, большая часть процедур квантового машинного обучения основана на традиционных процедурах. Чтобы обойти ограничения квантовых компьютеров иногда используются гибридные системы, объединяющие классические и квантовые вычисления. Квантовая нейронная сеть (Quantum Neural Network, QNN) является наилучшим примером реализации квантовых вычислений. Снижение размерности и кластеризация есть две наиболее известные стратегии для квантового машинного обучения без учителя. Улучшение конфиденциальности есть одна из областей, где могут быть использованы методы квантовой кластеризации. Алгоритмы оптимизации, квантовое

обучение с подкреплением и генеративные модели искусственного интеллекта являются примерами управляемых алгоритмов. Важные преимущества квантового машинного обучения заключаются в следующем:

- преимущества по времени выполнения задачи обеспечивают более быстрые результаты;

- большой объем ассоциативной памяти или памяти с возможностью адресации содержимого является преимуществом с точки зрения способности к обучению;

- повышение эффективности обучения КМО позволяет применять более простые модели, которые используют меньше обучающих данных для получения тех же результатов, или способность изучать более сложные ассоциации на основе одних и тех же данных.

Объединив и проанализировав с помощью КМО квантовые выходы многих датчиков с помощью методов квантовой обработки информации, можно получить данные квантовой сенсорики, например, для метрологии. Здесь можно выделить два типа квантовых датчиков, а именно пассивные датчики и активные датчики. Пассивные датчики обычно используются для измерения и регистрации отражения света от земных объектов, они не передают энергии наблюдаемым объектам. КМО может применяться для интеллектуальной интерпретации снимков дистанционного зондирования в части автоматической идентификация (или распознавание) целей и категоризация снимков высокого разрешения.

1. Grebeshkov A. Y. Optical Transport Network Management Via Machine Learning and Ontology-Based Technique Optical Technologies for Telecommunications: XVII International Scientific and Technical Conference. Proceedings of SPIE. 2020. Vol. 11516. P. 1151602. DOI: 10.1117/12.2556375

APPLICATION OF PHOTONIC NEURAL NETWORKS AND QUANTUM SENSING

Grebeshkov A. Y.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Quantum photonic neural networks are variational photonic circuits that can be trained to perform quantum operations with high accuracy. Quantum Neural Network (QNN) is the best example of quantum computing implementation. By combining and analyzing with QNN the quantum outputs of many sensors using quantum information processing techniques, quantum sensing data, such as for metrology, can be obtained.

СЕКЦИЯ 1

ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

ПРИМЕНЕНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В АДАПТИВНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Мурзин С.П.^{1,2}, Казанский Н.Л.^{1,3}

(¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, ²Венский технический университет, ³Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»)

Современные оптические телекоммуникационные системы нуждаются в высокоэффективных инструментах для управления световыми потоками с целью повышения производительности и гибкости. Дифракционные оптические элементы (DOE), которые способны изменять свои параметры с помощью поворота и вращения вокруг нормали к поверхности, могут играть ключевую роль в управлении характеристиками излучения в таких системах. Рассматривается применение отражающих DOE для улучшения точности управления лазерным излучением и оптимизации передачи данных в оптоволоконных сетях.

DOE применяются для управления характеристиками лазерного излучения, такими как фокусировка, разделение спектров и направление пучков. Они могут фокусировать пучки до минимальных размеров или создавать отрезки с равномерной интенсивностью, что значительно повышает пропускную способность сетей. Возможность поворота и вращения DOE позволяет динамически изменять параметры системы в реальном времени, что особенно полезно для адаптивных телекоммуникационных систем. Такие элементы можно интегрировать в системы с мультиплексированием по длине волны для точного управления спектральными каналами и улучшения управления фазовыми фронтами лазеров, что повышает качество передачи данных. Кроме того, они улучшают управление фазовыми фронтами лазеров, что важно для повышения качества передачи данных.

Автоматизация процессов управления DOE с возможностью поворота и вращения может быть достигнута за счёт интеграции системами искусственного интеллекта и глубокого обучения. Такие системы адаптируют параметры оптических элементов в зависимости от условий, минимизируя потери и улучшая пропускную способность. Автоматизированные системы точно настраивают положение DOE для максимальной эффективности передачи данных. Внедрение таких подходов может значительно сократить время реакции на изменения в сети и повысить общую устойчивость систем. Использование таких элементов

в телекоммуникациях значительно повышает их производительность, создавая адаптивные системы, автоматически подстраивающиеся под изменения и обеспечивающие точное управление оптическими пучками в реальном времени.

Таким образом, DOE с возможностью поворота и вращения вокруг нормали к поверхности открывают перспективы для улучшения телекоммуникационных оптических систем. Интеграция таких элементов с цифровыми системами управления и автоматизацией позволит повысить качество передачи данных, гибкость сетей и их способность адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации.

APPLICATION OF DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENTS IN ADAPTIVE TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Murzin S.P.^{1,2}, Kazanskiy N.L.^{1,3}

(¹Samara National Research University, ²Technische Universitat Wien, ³Image Processing Systems Institute, National Research Center «Kurchatov Institute»)

Modern optical telecommunication systems require efficient tools for controlling light beams to enhance performance and flexibility. Diffractive optical elements, capable of adjusting their parameters by turn and rotation around, for example, the central normal to the surface, play a crucial role in managing laser beam characteristics. Refractive biffractive optical elements are considered for improving laser control and optimizing data transmission in fiber-optic networks. They are used for beam focusing, spectral separation, and direction adjustment, allowing beams to focus into minimal spots or create segments with uniform intensity, thus improving network capacity. Their ability to turn and rotate enables dynamic changes in optical system parameters, making them especially useful for adaptive telecommunication systems. Automating biffractive optical elements control with artificial intelligence and deep learning allows real-time adaptation of optical parameters, minimizing losses and enhancing performance. This positions Diffractive optical elements as key components for future adaptive systems that adjust to changing conditions. Diffractive optical elements offer significant potential for enhancing data transmission quality and network adaptability in optical telecommunication systems.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ В ЦЕПОЧКАХ ЭРБИЕВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Никифоров Д.Д.^{1,4}, Самоделкин Л.А.^{1,3}, Старых Д.Д.¹,
Наний О.Е.^{1,2,3}, Трециков В.Н.¹

¹ООО «Т8», ²Московский физико-технический институт,

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

⁴МИРЭА – Российский технологический университет)

Магистральные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) сейчас невозможно представить без большого числа волоконных эрбиевых усилителей (EDFA). В длинных цепочках усилителей из-за изменения внешних условий и особенностей работы алгоритмов подстройки возникают колебания выходной мощности. Важно определить, при каких условиях эти колебания могут нарастать и приводить к деградации качества сигнала.

Проведена экспериментальная проверка влияния числа EDFA и их режимов работы на стабильность канальной мощности и стабильность значения отношения сигнал-шум (SNR) на приемнике транспондера.

По формуле (1) с помощью уровня битовых ошибок (BER), определяемого алгоритмом FEC транспондера, определялся SNR приёмника.

$$BER = \frac{2}{\log_2(M)} \cdot \frac{\sqrt{M}-1}{\sqrt{M}} \operatorname{erfc} \left[\sqrt{\frac{3SNR}{2(M-1)}} \right], \quad (1)$$

где M – количество состояний сигнала на фазовой плоскости ($M = 4$ для QPSK, $M = 16$ для 16QAM и т.д.), erfc – функция ошибок.

Выявлены колебания выходной мощности в цепочках EDFA. Колебания имеют гауссово распределение (Рис. 1), которые приводят к нестабильности SNR, распределение которого отличается от гауссово и имеет характерные выбросы (Рис. 1). Выявлен рост СКО (среднего квадратического отклонения, метрика была выбрана 2σ для повышения точности, так как дает 95% доверительный интервал) выходной мощности с $2\sigma = 0,14$ dB до $2\sigma = 0,34$ dB и СКО отношения сигнал/шум с $2\sigma = 0,04$ dB до $2\sigma = 0,24$ dB с увеличением количества усилителей в цепочке (Рис. 2).

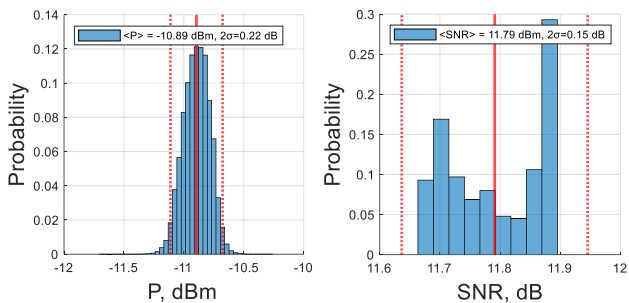


Рис. 1. Пример распределения выходной мощности и SNR для режима Gain

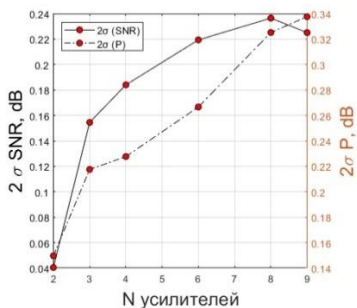


Рис. 2. Пример роста СКО SNR и СКО выходной мощности с увеличением количества усилителей в цепочке в режиме Gain

1. Quality metrics for optical signals Eye diagram, Q-factor, OSNR, EVM and BER / W. Freude [et al.] // 14th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON). Coventry, UK, 2012. P. 95-1–95-4.

INVESTIGATION OF THE OUTPUT POWER OSCILLATIONS IN ERBIUM AMPLIFIER CHAINS

Nikiforov D.D.^{1,4}, Samodelkin L.A.^{1,3}, Starykh D.D.¹, Nanii O.E.^{1,2,3}, Treshchikov V.N.¹

(¹T8 LLC, ²Moscow Institute of Physics and Technology, ³M.V. Lomonosov Moscow State University, ⁴MIREA – Russian Technological University)

A study of the oscillations of output power from erbium amplifier chains in different operating modes was carried out. SNR at the receiver of coherent transponder can degrade due to accumulated output power deviations.

ПУЧКИ ПУАНКАРЕ В ОСТРОМ ФОКУСЕ И ИХ ХИРАЛЬНОСТЬ

Стафеев С.С., Зайцев В.Д., Котляр В.В.

(Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт», Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва)

В настоящее время исследователями по всему миру активно исследуются пучки, поляризация в сечении которых не одинакова – поляризационно неоднородные пучки. Другая активно исследуемая в настоящее время характеристика пучков – хиральность [1] в последнее время также привлекает внимание исследователей. Отметим, что с точностью до множителя хиральность пучка совпадает со спиральностью [2]. Хиральность пучков Пуанкаре ранее была рассмотрена в работе [2], где было показано, что в некоторых случаях хиральность наблюдается на оптической оси пучка. Позднее в комментарии к работе [3] были приведены доводы, что исследование [2] ошибочно и нефизично. В данном исследовании была рассмотрена хиральность пучков Пуанкаре с точки зрения формализма Ричардса-Вольфа. Было показано, что хиральность для пучков Пуанкаре всегда обладает радиальной симметрией и не зависит от азимутального угла пучка. Абсолютная величина хиральности максимальна, когда полярный угол пучка равен нулю или π , и отсутствует, когда он равен $\pi/2$. Ненулевые значения хиральности на оптической оси наблюдаются для порядков пучка 0, 1 и 2. Если полярный угол пучка равен нулю интенсивность пучков Пуанкаре с точностью до множителя совпадает с хиральностью.

Ниже показаны результаты моделирования при фокусировке волны длиной 633 нм и плоским волновым фронтом апланатическим объективом с числовой апертурой $NA=0,95$ с поляризацией (1):

$$E_p(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} ae^{-i\varphi} + be^{i\varphi} \\ iae^{-i\varphi} - ibe^{i\varphi} \end{pmatrix}, \quad (1),$$

где $a = \cos(\theta/2)e^{-i\psi/2}$, $b = \sin(\theta/2)e^{i\psi/2}$, $a^2 + b^2 = 1$, θ и ϕ полярный и азимутальный углы, задающие положение поляризации на обобщенной сфере Пуанкаре.

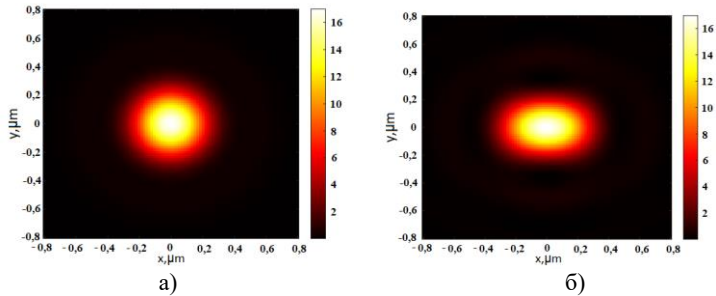


Рис. 1. Интенсивность (совпадает с хиральностью) для пучка (1) с $n=0$; $\psi=0$; $\theta=0$ (а) интенсивность (хиральность отсутствует) для пучка (1) с $n=0$; $\psi=\pi/2$; $\theta=0$ (б)

1. Electromagnetic Chirality: from Fundamentals to Nontraditional Chiroptical Phenomena / J. Mun [et.al.] // Light Science & Applications. 2020. Vol. 9. P. 139-14–139-18. DOI: 10.1038/s41377-020-00367-8

2. Babiker M., Yuan J., Koksal K. The Super-Chirality of Vector Twisted light // Optics Communications. 2024. Vol. 554. P. 130185. DOI: 10.1016/j.optcom.2023.130185

3. Forbes K.A. Comment on M. Babiker, J. Yuan, K. Koksal, and V. Lembessis, Optics Communications 554, 130185 (2024) [Электронный ресурс] / URL: <https://arxiv.org/html/2403.13495v1> (дата обращения: 20.09.2024).

POINCARÉ BEAMS IN SHARP FOCUS AND THEIR CHIRALITY

Stafeev S.S., Zaitsev V.D., Kotlyar V.V.

(¹*Institute of Image Processing Systems, National Research Center «Kurchatov Institute»,* ²*Samara National Research University*)

Currently, researchers around the world are actively studying beams whose cross-section polarization is not the same – polarization-inhomogeneous beams. Another characteristic of beams that is currently being actively studied, chirality [1], has also recently attracted the attention of researchers. In this study, the chirality of Poincaré beams was considered from the point of view of the Richards-Wolf formalism. It was shown that the chirality for Poincaré beams always has radial symmetry and does not depend on the azimuthal angle of the beam. The absolute value of chirality is maximum when the polar angle of the beam is zero or π , and is absent when it is $\pi/2$.

НАКОПЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ШУМОВ В КОГЕРЕНТНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Самоделькин Л.А.^{1,3}, Старых Д.Д.¹, Наний О.Е.^{1,2,3}, Трещиков В.Н.¹

(¹ООО «Т8», ²Московский физико-технический институт,

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

В современных многопролетных волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) основными факторами, ограничивающими производительность, являются шумы спонтанной люминесценции от эрбиевых усилителей и нелинейные искажения сигнала в самом телекоммуникационном волокне [1]. Точно эволюцию сигнала в оптоволокне описывают уравнения Манакова [2]. Однако из-за вычислительной сложности на практике применяют набор приближенных моделей, описывающих нелинейные искажения как дополнительный шум [1].

В многопролетных ВОЛС нелинейные искажения коррелируют в разных участках волокна, поэтому закон накопления нелинейных шумов является сверхлинейным [3]. Корреляции внутриканальных (самовоздействие) и межканальных (кросс-воздействие) нелинейных шумов существенно разные. Их учет проводится интегрально, как некоторая поправка.

В лабораторном эксперименте и моделировании решения уравнения Манакова с помощью VPIphotonics Design Suite показано, что в многопролетных ВОЛС с разнотипными волокнами нелинейные шумы суммируются сверхлинейно, отдельно для каждого вида волокна вне зависимости от порядка следования пролётов. Для двух видов волокна формула принимает вид:

$$\frac{1}{OSNR_{NL}^{\Sigma}} = \left(\sum_{i \text{ SMF}} \left(\frac{1}{OSNR_{NL}^i} \right)^{1+\epsilon_{SMF}} \right)^{1+\epsilon_{SMF}} + \left(\sum_{i \text{ NZDSF}} \left(\frac{1}{OSNR_{NL}^i} \right)^{1+\epsilon_{NZDSF}} \right)^{1+\epsilon_{NZDSF}}, \quad (1)$$

где SMF (стандартное одномодовое волокно) и NZDSF (волокно с ненулевой смещенной дисперсией) – типы волокна, к которым соответственно относятся нелинейные шумы $OSNR_{NL}$ из пролётов и коэффициенты накопления нелинейных искажений ϵ .

На рис. 1 для одноканального случая в 20-пролетной линии, где тип волокна менялся каждые 5 пролетов, сравнение результатов моделирования Точками – решение уравнения Манакова, сплошная линия – вычисление по формуле (1), прерывистая – простое суммирование. Видно, что нелинейных искажений в NZDSF генерируется больше, чем в SMF волокне, а закон простого суммирования существенно недооценивает итоговое количество нелинейных шумов. Формула (1) лишена этого

недостатка, легко применима и совместима с ранее разработанными моделями расчета когерентных ВОЛС [4].

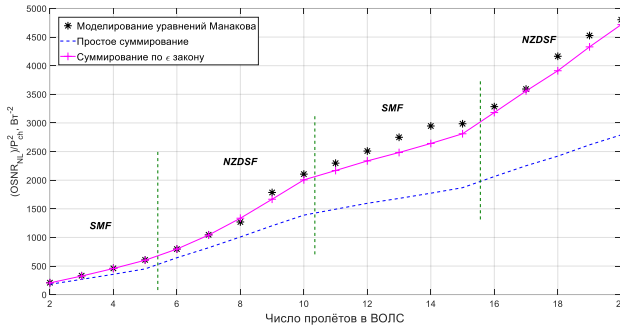


Рис. 1. Сравнение законов накопления нелинейных искажений

Для большинства негативных эффектов в ВОЛС есть удобные аналитические формулы для быстрых расчетов. Теперь они также предложены и обоснованы для накопления нелинейных шумов.

1. Accurate Non-Linearity Fully-Closed-Form Formula based on the GN/EGN Model and Large-Data-Set Fitting / P. Poggiolini [et al.] // 2019 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC). San Diego, 2019. DOI:10.1364/OFC.2019.M11.4

2. Agrawal G.P. Nonlinear Fiber Optics. New York: Academic press, 2013. 481 p.

3. Accumulation of Nonlinear Noise in Coherent Communication Lines without Dispersion Compensation / V.A. Konyshov [et al.] // Optics Communications. 2015. Vol. 349. P. 19–23.

4. Обзор моделей нелинейных искажений в когерентных ВОЛС. Методы увеличения их точности и способы расширения пределов применимости / Д.Д. Старых [и др.] // Фотон-Экспресс. 2023. № 6. С. 49–50.

ACCUMULATION OF NONLINEAR NOISE IN COHERENT FIBER OPTIC LINES

Samodelkin L.A.^{1,3}, Starykh D.D.¹, Nanii O.E.^{1,2,3}, Treschikov V.N.¹

(¹T8 LLC, ²Moscow Institute of Physics and Technology,

³Lomonosov Moscow State University)

An experimental and theoretical study of the accumulation of nonlinear noise was carried out. A new formula for fiber optic lines with different fiber types in fiber spans, compatible with Gaussian noise model is proposed.

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ЗАРЯД СУПЕРПОЗИЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ВИДЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ В ТУРБУЛЕНТНОЙ СРЕДЕ

Шилов Д.О.¹, Козлова Е.С.^{1,2}

(¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, ²Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»)

Оптические вихри являются предметом активного изучения последние несколько десятилетий. Особый интерес представляет величина топологического заряда при распространении оптических пучков в турбулентных средах, так как он является носителем передаваемой информации [1].

В данной работе был рассмотрен процесс распространения суперпозиции гауссовых оптических вихрей в виде геометрической прогрессии с параметром [2] в турбулентных средах. Для учета турбулентности среды в начальной плоскости исходное поле умножалось на поле со случайной фазой, которая определялась с использованием корреляционной матрицы для описания турбулентных искажений [3].

Было показано, что значение отклонения топологического заряда зависит не только от параметров турбулентной среды, но и от характеристик пучка. В частности, увеличение параметров k (отвечает за усечение последовательности) и m (отвечает за шаг геометрической прогрессии) приводит к увеличению устойчивости топологического заряда суперпозиции к турбулентным искажениям, так как оба параметра позволяют контролировать (а при увеличении снижать) количество оптических вихрей в суперпозиции.

На рис. 1 показаны интенсивность и фаза пучков $k = 0, m = 3, n = 5, a = 1$ на расстоянии Рэлея в турбулентной среде с параметрами $\rho_0 = 0,2682$ и $\sigma = \pi$ (а, б), $\rho_0 = 0,0870$ и $\sigma = \pi$ (в, г), $\rho_0 = 0,2682$ и $\sigma = 2\pi$ (д, е) и пучка $k = 0, m = 1, n = 3, a = 1$ на расстоянии Рэлея в турбулентной среде с параметрами $\rho_0 = 0,0870$ и $\sigma = 2\pi$ (ж, з). Из рисунка видно, что чем сильнее турбулентность, тем сильнее искажается пучок.

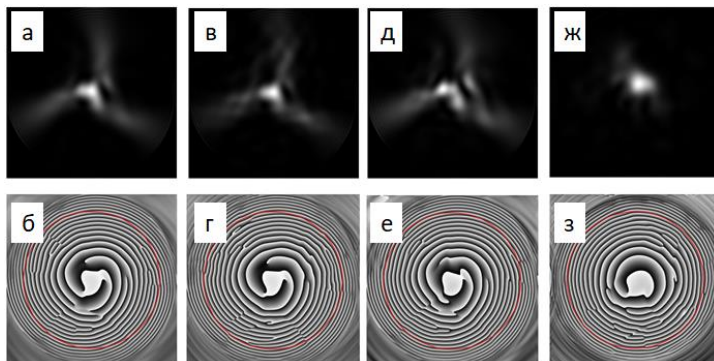


Рис. 1. Результаты моделирования

1. Orbital Angular Momentum Beams for High-Capacity Communications / A.E. Willner [et al.] // *Journal of Lightwave Technology*. 2023. Vol. 41, no. 7. P. 1918–1933.

2. Котляр В.В., Ковалев А.А. Топологический заряд суперпозиции оптических вихрей, описываемой геометрической прогрессией // *Компьютерная оптика*. 2022. Т. 46, № 6. С. 864–871.

3. Study of Propagation of Vortex Beams in Aerosol Optical Medium / A.P. Porfirev [et al.] // *Applied Optics*. 2017. Vol. 56, no. 11. P. E8-E15. DOI: 10.1364/AO.56.0000E8

THE TOPOLOGICAL CHARGE OF THE SUPERPOSITION OF OPTICAL VORTICES IN A TURBULENT MEDIUM

Shilov D.O.¹, Kozlova E.S.^{1,2}

(¹Samara National Research University, ²Institute of Image Processing Systems, National Research Center «Kurchatov Institute»)

The paper considers beams in the form of geometric progression of optical vortices. Numerical modelling of the propagation of such optical fields in turbulent media is simulated using the Fresnel integral. The topological charges of the initial and resulting fields have been calculated. As expected, the analysis of the obtained results showed that superpositions with a smaller number of beams are more resistant to distortions by strongly turbulent media. However, in the case of a superposition in the form of a geometric progression with a parameter, the stability of beam propagation is affected not only by the medium parameters, but also by the parameters of the superposition.

НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МАСОК В ЗАДАЧАХ ОСТРОЙ ФОКУСИРОВКИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С НЕОДНОРОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Калашников Д.Ю.¹, Стафеев С.С.^{1,2}

(¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, ²Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»)

В настоящее время широко используются оптические устройства, принцип работы которых основан на острой фокусировке лазерного излучения. Острая фокусировка света с использованием линз или объективов с высокой числовой апертурой используется как при фундаментальных исследованиях различных веществ, так и в таких приложениях, как конфокальная микроскопия и оптическое хранение данных [1]. Основным методом, с помощью которого анализируют сфокусированные поляризованные пучки, являются интегралы, полученные Ричардсом и Вольфом [2].

Данная работа посвящена исследованию острой фокусировки лазерного излучения с радиальной поляризацией и нахождению оптимальной конфигурации бинарной фазовой маски для получения минимального размера фокусного пятна по полуспаду интенсивности в фокусе апланатического объектива.

Средствами языка программирования Python с помощью использования библиотек NumPy, SciPy была разработана программа для численного моделирования острой фокусировки лазерного излучения с неоднородной поляризацией.

С помощью интегралов Ричардса-Вольфа были рассчитаны компоненты электрического поля для нахождения распределения интенсивности в фокусе апланатического объектива с числовыми апертурами 0,65, 0,8 и 0,95.

Численно с помощью интегралов Ричардса-Вольфа были рассчитаны компоненты электрического поля для нахождения распределения интенсивности в фокусе апланатического объектива с числовой апертурой 0,95, дополненного бинарной фазовой маской [3]. С помощью генетического алгоритма были подобраны оптимальные параметры для бинарных масок, состоящих из 56, 108 и 150 зон. Размеры полученных фокусных пятен составили $FWHM = 0,36\lambda$, $FWHM = 0,27\lambda$ и $FWHM = 0,32\lambda$ соответственно.

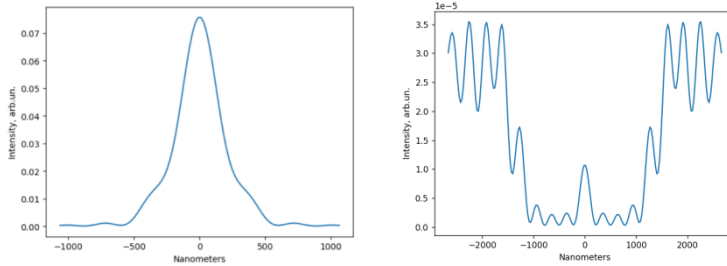


Рис. 1. Распределение интенсивности в фокальной плоскости при фокусировке радиально поляризованной моды $R-TEM_{01}$ с параметром $\beta = 1$ апланатическим объективом с числовой апертурой равной 0,95 (а) и при фокусировке радиально поляризованного пучка Бесселя-Гаусса апланатическим объективом с числовой апертурой равной 0,95, дополненным бинарной фазовой маской (б)

1. Chen Z., Hua L., Pu J. Tight Focusing of Light Beams: Effect of Polarization, Phase, and Coherence // Progress in Optics. 2012. Vol. 57. P. 219–260.
2. Richards B., Wolf E. Electromagnetic Diffraction in Optical Systems, II. Structure of the image field in an aplanatic system // Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences. 1959. Vol. 253, no 1274. P. 358–379.
3. Creation of a Needle of Longitudinally Polarized Light in Vacuum Using Binary Optics / H. Wang [et al.] // Nature photonics. 2008. Vol. 2, no. 8. P. 501–505.

FINDING OPTIMAL MASKS FOR SIMULATION OF TIGHT FOCUSSING OF LASER BEAMS WITH INHOMOGENEOUS POLARIZATION

Kalashnikov D.Y.¹, Stafeev S.S.^{1,2}

*(¹Samara National Research University, ²Institute of Image Processing
Systems, National Research Center «Kurchatov Institute»)*

The work is dedicated to the study of tight focusing of laser beams with radial polarization and finding the optimal configuration of a binary phase mask to obtain the minimum size of the focal spot according to the full-width at half-maximum of intensity in the focus of an aplanatic lens. The simulation was implemented by the Richards-Wolf formulas for radially polarized light. Optimization of the binary phase mask was implemented by genetic algorithm.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСОВ РЕФЛЕКТОМЕТРА НА КОГЕРЕНТНЫЕ DWDM КАНАЛЫ

Якушин И.К.^{1,3}, Ремизова А.С.^{1,3}, Самоделкин Л.А.^{1,3}, Старых Д.Д.¹,
Наний О.Е.^{1,2,3}, Трещиков В.Н.¹

(¹ООО «Т8», ²Московский физико-технический институт,

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

В современных магистральных волоконно-оптических линиях связи информационные каналы DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing, плотное спектральное мультиплексирование по длинам волн) могут распространяться совместно с импульсами оптического рефлектометра (OTDR, Optical Time Domain Reflectometer), который используется для мониторинга состояния оптического волокна: его погонного затухания, точечных потерь и обрывов.

Сигналы OTDR и DWDM взаимодействуют за счёт эффекта вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). Чем выше мощность сигнала DWDM и OTDR, тем эффективнее ВКР-перекачка энергии. При встречном их распространении взаимодействием можно практически пренебречь. Наибольшая перекачка энергии наблюдается при попутном распространении, и данное явление ранее исследовалось в амплитудно-модулированных системах [1]. В данной работе проводилось исследование влияния OTDR на когерентные системы связи.

На рис. 1 приведена осциллограмма (снимок экрана осциллографа), на которой наблюдается падение мощности сигнала на длине волны 1537,4 нм в момент прохождения импульса рефлектометра. Фотоприемники были установлены после спектрально-селективных компонент, чтобы исключить влияние других каналов. Из осциллограммы видно, что время просадки сигнала в точности соответствует длительности импульса 20 мкс.

Для сигнала когерентного транспондера подобная динамика может негативно проявляться на двух этапах. Первый – это скорость изменения мощности сигнала dp/dt . Резкое изменение dp/dt может привести к неверному декодированию сигнала внутри цифрового сигнального процессора и кратковременному прерыванию трафика. Второй – новое значение мощности DWDM сигнала во время прохождения импульса. Это особенно критично в многопролётных линиях связи, где изменение формы спектра группового DWDM сигнала может привести к уменьшению OSNR (Optical Signal-to-Noise-Ratio) для крайних каналов. Падение мощности сигнала, приходящей на приемник, также может вывести линию связи за пределы работоспособности.

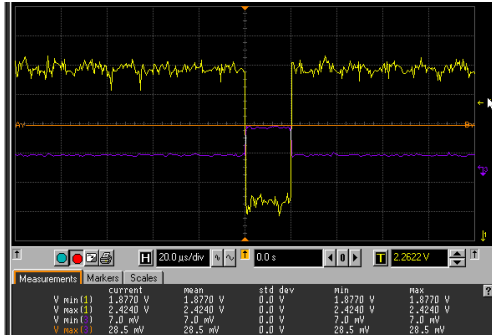


Рис. 1. Сигнал на осциллографе с фотоприёмников в момент прохождения импульса OTDR длительностью 20 мкс. Жёлтый – DWDM канал 1537,4 нм, фиолетовый – OTDR на длине волны 1625 нм.

В данной работе приводится исследование влияния OTDR (на длине волны 1625 нм) на когерентные каналы в DWDM системах связи. Предлагается модель учета этого взаимодействия в терминах штрафа к OSNR.

1. SRS Induced Depletion of 1540 nm Signal Co-Propagating with 1630 nm OTDR Pulses / P.M. Kjeldsen [et al.] // Electronics Letters. 1996. Vol. 32, no. 20. P. 1914–1916.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER PULSES ON COHERENT DWDM CHANNELS

Iakushin I.K.^{1,3}, Remizova A.S.^{1,3}, Samodelkin L.A.^{1,3}, Starykh D.D.¹,

Nanii O.E.^{1,2,3}, Treschikov V.N.¹

(¹T8 LLC, ²Moscow Institute of Physics and Technology,

³Lomonosov Moscow State University)

The influence of optical reflectometer pulses on the signal of coherent transceiver was studied. A model for accounting for this effect in terms of a penalty to the optical signal-to-noise ratio is proposed.

НОВЫЕ ВИХРЕВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ПУЧКИ: ПУЧКИ БЕССЕЛЬ-БЕССЕЛЬ-ГАУССА

*Котляр В.В.^{1,2}, Абрамочкин Е.Г.³, Ковалев А.А.^{1,2},
Стафеев С.С.^{1,2}, Козлова Е.С.^{1,2}*

(¹Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт», ²Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, ³Самарский филиал Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук)

Пучки Бесселя и пучки Бесселя-Гаусса известны в оптике с 1987 года. В настоящее время они по-прежнему привлекают большое внимание из-за их широкого применения [1].

В данной работе исследуются вихревые пучки Бесселя-Бесселя-Гаусса (ВВГ-пучки) с комплексной амплитудой, являющейся произведением функции Гаусса на две функции Бесселя со сложной радикальной зависимостью аргументов от цилиндрических координат и от постоянного параметра, определяющего форму распределения интенсивности. Если этот параметр мал, интенсивность имеет форму неоднородного кольца. Если этот параметр велик, интенсивность состоит из двух дуг или «полумесяцев», повернутых вогнутой стороной друг к другу. Получено явное выражение для комплексной амплитуды таких пучков на произвольном расстоянии от перетяжки. Показано, что ВВГ-пучки демонстрируют аномально высокую скорость вращения: на расстоянии, значительно меньшем расстояния Рэлея, распределение интенсивности поворачивается почти на 45 градусов. Обычно угол поворота вихревых гауссовых пучков равен фазе Гуи. Мы также показываем, что параметр асимметрии пучка ВВГ позволяет управлять его топологическим зарядом: при увеличении положительного значения параметра топологический заряд пучка скачкообразно увеличивается на четное число.

Исследованные пучки ВВГ могут быть получены с использованием только фазового элемента и известных подходов для кодирования амплитудно-фазовой функции в только фазовую функцию. Данные пучки могут найти свое применение для оптических коммуникаций в свободном пространстве [2].

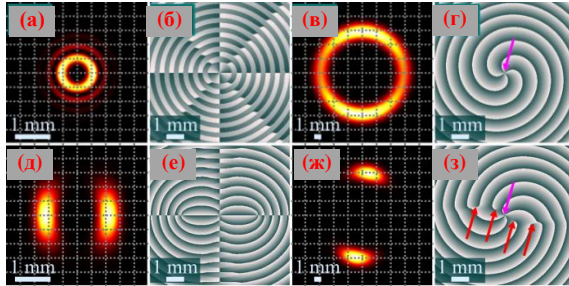


Рис. 1. Распределения интенсивности (а, в, д, ж) и фазы (б, г, е, з) пучка BBG в исходной плоскости (а, б, д, е) и на расстоянии Рэлея (в, г, ж, з) для значений параметра асимметрии: 1 (а-г), 6 (д-з). Стрелки показывают центральный вихрь n -го порядка (розовые) и внеосевые вихри с ТС +1 (красные)

1. Bessel Beam: Significance and Applications – A Progressive Review / S.N. Khonina [et al.] // *Micromachines*. 2020. Vol. 11, no. 11. P. 997. DOI: 10.3390/mi11110997

2. Are Bessel Beams Resilient to Aberrations and Turbulence? / N. Mphuthi [et al.] // *Journal of the Optical Society of America A*. 2018. Vol. 35, no. 6. P. 1021–1027.

NEW VORTEX LASER BEAMS: BESSEL-BESSEL-GAUSS BEAMS

Kotlyar V.V.^{1,2}, Abramochkin E.G.³, Kovalev A.A.^{1,2},

Stafeev S.S.^{1,2}, Kozlova E.S.^{1,2}

(¹Image Processing Systems Institute, National Research Center «Kurchatov Institute», ²Samara National Research University, ³Lebedev Physical Institute)

We investigate vortex Bessel-Bessel-Gaussian beams (BBG beams) with a complex amplitude being a product of the Gaussian function with two Bessel functions with complex radical dependence of the arguments on the cylindrical coordinates and on a constant parameter that defines the shape of the intensity distribution. If this parameter is small, the intensity has a shape of inhomogeneous ring. If this parameter is large, the intensity consists of two arcs or 'crescents', turned by the concave side to each other. An explicit expression is derived for the complex amplitude of such beams at an arbitrary distance from the waist. The BBG beams are shown to exhibit anomalously high rotation speed: at a distance much shorter than the Rayleigh distance, the intensity distribution rotates by almost 45 degrees. We also demonstrate that the asymmetry parameter of the BBG beam allows controlling its topological charge: when the positive parameter value increases, the beam topological charge increases stepwise by an even number.

СЕКЦИЯ 2

ПАССИВНЫЕ И АКТИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

СУПЕРСТРУКТУРИРОВАННЫЕ АДРЕСНЫЕ ВОЛОКОННЫЕ БРЭГГОВСКИЕ СТРУКТУРЫ КАК МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Валеев Б.И., Сахабутдинов А.Ж.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)

В качестве базовых пассивных оптических элементов волоконно-оптических сенсорных систем были предложены адресные волоконные брэгговские структуры [1].

Спектральный отклик, сформированный от периодической структуры и/или однородного участка волокна, описывается с использованием теории и техники матриц рассеяния и передачи [2, 3]. Распространение света через слоистую структуру, состоящую из однородных сплошных сред или волоконных брэгговских решеток, моделируется в виде произведения соответствующих матриц передач.

Массив слабоотражающих волоконных брэгговских решеток (СВРБ) с периодически изменяющимися фазовыми сдвигами между ними (Рис. 1) можно представить в виде:

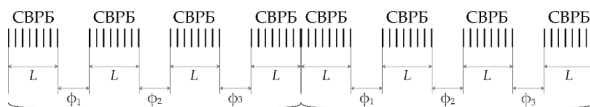


Рис. 1. Схема структуры массива СВРБ с периодически изменяющимися фазовыми сдвигами

Фигурными скобками на рисунке обозначены периодические структуры, внутри каждой из которой сформированы фазовые сдвиги ϕ_i с периодом m в виде последовательности:

$$\{\phi_i\} = \frac{2\pi}{m} \cdot i, \quad i = \overline{1, m}, \quad m \in \mathbb{N}. \quad (1)$$

Введение определяемых по (1) фазовых сдвигов в структуру массива позволяет: уменьшить адресную частоту Ω структуры в m раз при сохранении ее полной длины $N \cdot L$, рисунок 2(а); уменьшить полную длину $N \cdot L$ структуры в m раз при сохранении адресной частоты Ω между ее спектральными компонентами, рисунок 2(б).

Изменение температуры не влечет за собой изменения спектральной формы отклика и адресной частоты Ω в целом, что позволяет применять массивы СВРБ с периодически дискретными фазовыми сдвигами в качестве волоконно-оптических датчиков различных физических полей и компонентов радиофотоники с высокостабильными частотными

характеристиками. Адресная частотаратно изменяется при изменении числа интервалов разбиения фазовых сдвигов.

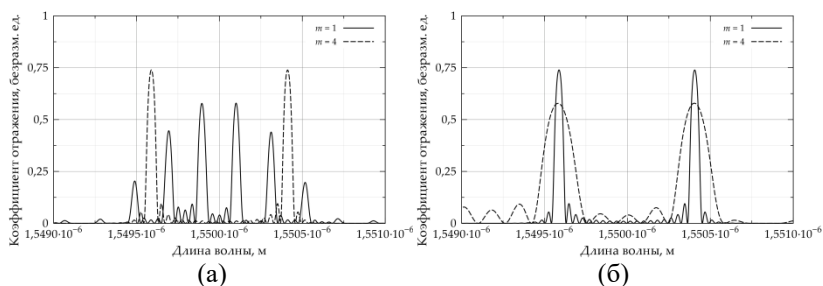


Рис. 2. Спектры отражения массива СВРБ: (а) при $L = 1$ мм, $n_{\text{eff}} = 1.45871$, $N = 20$ и (б) при $N = 20$ для $L = 1$ мм, $n_{\text{eff}} = 1.45871$ (сплошная линия) и $L = 0.25$ мм, $n_{\text{eff}} = 1.45886$ (пунктирная линия)

1. Morozov O.G., Sakhabutdinov A.J. Addressed Fiber Bragg Structures in Quasi-Distributed Microwave-Photonic Sensor Systems // Computer Optics. 2019. Vol. 43, no. 4. P. 535–543.

2. Comparative Analysis of the Methods for Fiber Bragg Structures Spectrum Modeling / T. Agliullin [et al.] // Algorithms. 2023. Vol. 16, no. 2. P. 101. DOI: 10.3390/a16020101

3. Сравнительный анализ методов моделирования спектра волоконных брэгговских решеток / Т.А. Аглиуллин [и др.]. // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2023. Т. 3, № 3. С. 13–28.

SUPERSTRUCTURED ADDRESSED FIBER BRAGG STRUCTURES AS A METHOD OF GENERATION OF MULTI-FREQUENCY RADIATION

Valeev B.I., Sakhabutdinov A.Zh.
(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)

A method of generation of multi-frequency radiation based on an array of weakly reflective fiber Bragg gratings with periodic phase shifts between them has been considered. The results show that the envelope of the spectral response of the structure correlates with the reflection spectrum of a single fiber Bragg grating of equivalent length.

ДЕЙСТВИЕ ОБОБЩЁННОЙ СПИРАЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ ПЛАСТИНКИ С НЕМОНОТОННОЙ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТЬЮ ФАЗЫ

Устинов А.В.¹, Логачев В.И.², Хонина С.Н.^{1,2}

¹Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт», ²Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)

Стандартная спиральная фазовая пластинка (СФП) [1] – это оптический элемент с функцией пропускания $\text{circ}(r/R) \cdot \exp(im\varphi)$, где R – радиус элемента, m – топологический заряд (ТЗ). СФП формирует из плоского пучка пучок со спиральным волновым фронтом. Обобщённая СФП имеет нелинейную зависимость фазы. В статье [2] рассмотрено действие СФП с произвольной фазовой функцией $g(\varphi)$, и дано теоретическое описание вида формируемой кривой. Ранее также были решены ещё две задачи. Первая: получить кривую с постоянной яркостью, что возможно благодаря приданию к падающему плоскому пучку амплитуды, определяемой $g(\varphi)$. Вторая – обратная задача расчёта фазовой функции СФП для формирования заданной кривой.

В большинстве примеров фазовая функция $g(\varphi)$ была возрастающей (при замене на убывающую $-g(\varphi)$ формируется кривая, центрально симметричная исходной). При решении обратной задачи на функцию, описывающую заданную кривую, были наложены такие условия, что фаза будет возрастающей: $g'(\varphi) > 0$. В данном докладе мы рассмотрим влияние смены знака производной фазы. В этом случае форма кривой может существенно измениться. Такое происходит за счёт свойства, которое при постоянном знаке мало заметно – смещение позиции сегмента кривой на один квадрант по отношению к позиции на пластинке, причём направление смещения зависит от знака. При знаке плюс смещение +1 квадрант, а при знаке минус смещение –1 квадрант. В результате появляются сектора, где зависимость радиуса точки кривой перестаёт быть однозначной; в то же время появляются сектора, в которые кривая не попадает.

Полученные результаты могут быть полезны для формирования специальных распределений интенсивности как при вводе излучения в волноводы, так и при лазерном структурировании поверхности фоточувствительных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-79-10007.

1. Helical-Wave-Front Laser-Beams Produced with a Spiral Phaseplate / M.W. Beijersbergen [et al.] // Optics Communications. 1994. Vol. 112. P. 321–327.

2. Properties of Vortex Light Fields Generated by Generalized Spiral Phase Plates / S.N. Khonina [et al.] // Physical Review A. 2020. Vol. 101. P. 043829. DOI: 10.1103/PhysRevA.101.043829

ACTION OF A GENERALIZED SPIRAL PHASE PLATE WITH NON-MONOTONE ANGULAR PHASE DEPENDENCE

Ustinov A.V.¹, Logachev V.I.², Khonina S.N.^{1,2}

(¹Image Processing Systems Institute, Scientific Research Center «Kurchatov Institute», ²Samara National Research University)

We consider the effect of a generalized spiral phase plate with non-monotone angular phase dependence on the formation of light curves in the focal plane. This is useful for inserting radiation into waveguides and for laser structuring of the surface of photosensitive materials.

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ
НА ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СЕНСОРАХ НА ОСНОВЕ
АДРЕСНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР**

Белов Э.В., Морозов О.Г., Нуреев И.И.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А.Н. Туполева – КАИ)*

Частотная характеристика волоконных брэгговских решеток (ВБР) в линейном диапазоне воздействий остается неизменной, но сдвигается по частоте в зависимости от изменения температуры. Типичная методика заключается в определении частоты в максимуме спектра отражения как параметра определения температуры. Разрешающая способность таких измерений ограничена и определяется полосой пропускания ВБР и возможностями методов поиска максимума внутри нее. Для построения прецизионных датчиков температуры используют метод двух волокон, в каждом из которых записано по одной ВБР, но волокна изготовлены из разных материалов с различным коэффициентом термического расширения. За счет этого повышается разрешение и точность измерения температуры до $0,01^{\circ}\text{C}$ без ошибок, возникающих из-за дрейфа длины волны одночастотного зондирующего лазера. Однако, при использовании такого лазера диапазон измерений не превышает 20°C .

При использовании для зондирования широкополосного лазерного диода и расширения диапазона измерений на порядок, схема становится неработоспособной. Ее работоспособность можно восстановить, заменив ВБР на адресную волоконную брэгговскую структуру (АВБС) и установив перед каждым фотоприемником наклонный оптический фильтр, а электронный фильтр на адресную частоту каждой АВБС после фотоприемников. При этом разрешающая способность измерений составит $0,001^{\circ}\text{C}$.

**MODERNIZATION OF THE TEMPERATURE GAUGE
ON TWO PARALLEL SENSORS BASED ON
ADDRESSABLE FIBER BRAGG STRUCTURES**

Belov E.V., Morozov O.G., Nureev I.I.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)*

The report discusses a method for increasing the resolution of temperature measurements based on two parallel sensors by one order of magnitude.

ИСПЫТАНИЕ МОДЕЛИ КОРПУСА ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО

*Смирнов Н.Д., Липатников К.А., Сахабутдинов А.Ж., Харитонов Д.Ю.
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ)*

В данной работе представлены испытания различных моделей корпуса интерферометра Фабри-Перо. Два образца выполнены из фотополимерной смолы, распечатаны на 3D-принтере, третий изготовлен из металла. Произведен сравнительный анализ спектров интерферометров с целью выявления оптимальной конструкции чувствительного элемента для создания датчика температуры.

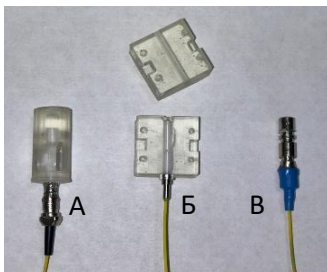


Рис. 1. Опытные образцы интерферометров Фабри-Перо. А – открытого типа из смолы; Б – закрытого типа из смолы; В – закрытого типа из металла

На рис. 1 изображен интерферометр с корпусом открытого типа из смолы (А), радиус изделия составляет 6 мм, длина 25 мм, открытого типа из смолы (Б), габариты: 20x20x20 мм и закрытого типа из металла (В) с радиусом 5 мм и длиной 25 мм.

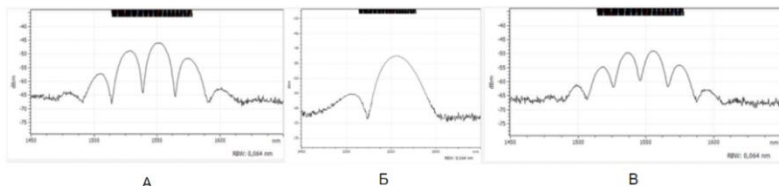


Рис. 2. Спектры интерферометров Фабри-Перо в разных корпусах:
А – открытого типа из смолы; Б – закрытого типа из смолы; В – закрытого типа из металла

Опрос полученных интерферометров предполагается осуществлять с применением радиофотонных технологий для снижения стоимости и повышения характеристик регистрирующей аппаратуры [1]. Для этого к полученным интерферометрам предъявим следующее требование: интерферометр должен иметь лишь один период.

Наилучший результат был получен чувствительным элементом с корпусом закрытого типа из смолы. Данный датчик является наиболее подходящим для выполнения наших целей – контроля температуры. Его спектр имеет наименьшее количество периодов и большую крутизну склона.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, <https://rscf.ru/project/23-79-10059/>.

1. Новые радиофотонные сенсорные системы: адресные сенсоры, методы их опроса и калибровки / О.Г. Морозов [и др.] // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: материалы Всероссийской научной школы-семинара. Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2022. С. 177–182.

TESTING THE HOUSING MODEL FABRY-PEROT INTERFEROMETER

*Smirnov N.D., Lipatnikov K.A., Sakhabutdinov A.Zh., Kharitonov D.Yu.
(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)*

This paper presents tests of various models of the Fabry-Perot interferometer housing. Two samples are made of photopolymer resin, printed on a 3D printer, and the third is made of metal. A comparative analysis of the interferometer spectra was performed in order to identify the optimal design of the sensor element for creating a temperature sensor.

ПУСТОТЕЛЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ – ПЕРО КАК ИНСТРУМЕНТ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Валеев Б.И., Аглиуллин Т.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)

В волоконно-оптических датчиках акустического поля на основе внешнего интерферометра Фабри – Перо мембрана выступает в качестве элемента, чувствительного к изменению акустического давления, а информация об этом заложена в механической деформации мембраны [1].

Тонкая пленка, нанесенная на сформированную на торце оптического волокна полость – мембрана, схематически показана на рис. 1.

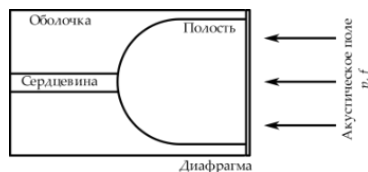


Рис. 1. Схема мембраны, сформированной на торце оптического волокна

В общем случае, выражение для деформации мембраны при воздействии акустического поля можно записать в следующем виде:

$$\eta_{mn} = \frac{3\rho(1-\mu^2)(R^2-r^2)^2}{16Eh^3} \cdot \frac{f_{mn}^2}{\sqrt{(f_{mn}^2-f^2)^2+4f^2\xi^2}}, \quad (1)$$

где индекс (mn) означает номер моды воздействующего акустического поля; R – радиус мембраны; f_{mn} – резонансная частота мембраны для (mn)-ной моды акустического поля.

Датчик акустического поля с точки зрения аппарата матриц рассеяния и передачи [2, 3], представляет собой четыре среды распространения (Рис. 2(а)).

На рис. 2(б) представлены спектры отражения волоконно-оптического датчика акустического поля на основе интерферометра Фабри – Перо при различных амплитудах воздействия.

Акустическое поле создает давление на мембрану, в результате чего она подвергается изгибу, тем самым модулируя длину интерферометра. В общем случае такое изменение приводит к сжатию или растяжению спектральной характеристики – изменяется величина свободного спектрального диапазона.

Как показало моделирование, при работе датчика с акустическим полем частотой f , в 4–5 раз меньшей, чем резонансная частота мембраны первого порядка f_{00} , можно получить линейную характеристику преобразования величины воздействия акустического поля в информационный сигнал.

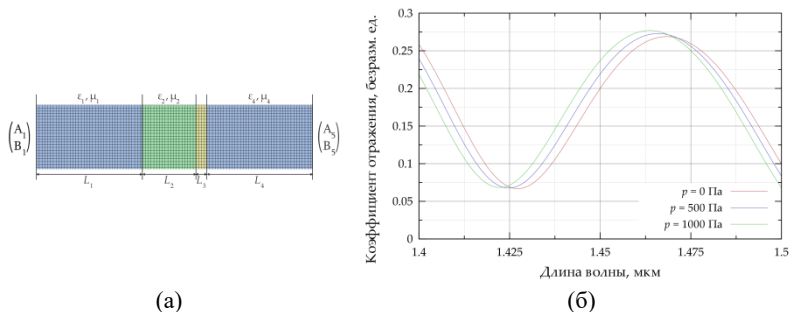


Рис. 2. Датчик акустического поля на основе интерферометра Фабри – Перо: (а) структура и (б) спектры отражения при воздействии акустического поля

1. Fiber-Optic Hydraulic Sensor Based on an End-Face Fabry–Perot Interferometer with an Open Cavity / O.G. Morozov [et al.] // Photonics. 2024. Vol. 11, no. 1. P. 22. DOI: 10.1103/PhysRevA.101.043829

2. Comparative Analysis of the Methods for Fiber Bragg Structures Spectrum Modeling / T. Agliullin [et al.] // Algorithms. 2023. Vol. 16, no. 2. P. 101. DOI: 10.3390/a16020101

3. Сравнительный анализ методов моделирования спектра волоконных брэгговских решеток / Т.А. Аглиуллин [и др.] // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2023. Т. 3, № 3. С. 13–28.

HOLLOW FABRY- PEROT INTERFEROMETER AS A TOOL FOR ACOUSTIC MONITORING

Valeev B.I., Agliullin T.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI)

A variant of forming a fiber-optic acoustic field sensor based on a hollow Fabry – Perot interferometer formed on the end of an optical fiber is proposed. The results show that when operating in an acoustic field with a frequency 4-5 times lower than the resonant frequency of the membrane, it is possible to obtain a linear conversion characteristic.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДОВОГО АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБРАЗЦА МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКОНА С РАВНОУГОЛЬНОЙ СПИРАЛЬНОЙ ШЕСТИЛУЧЕВОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

Евтушенко А.С.¹, Бурдин А.В.^{1,2,3}, Дашков М.В.¹

(¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, ²Научно-производственное объединение государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, ³Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)

В данной работе проводится сопоставление результатов модового анализа, выполненного для модельной версии ранее предложенного кварцевого микроструктурированного оптического волокна (МСОВ) с идеальной равноугольной спиральной шестилучевой геометрией (Рис. 1а) и его изготовленного промышленного образца (Рис. 1б), отличающегося слабой асимметрией и деформацией воздушных отверстий.

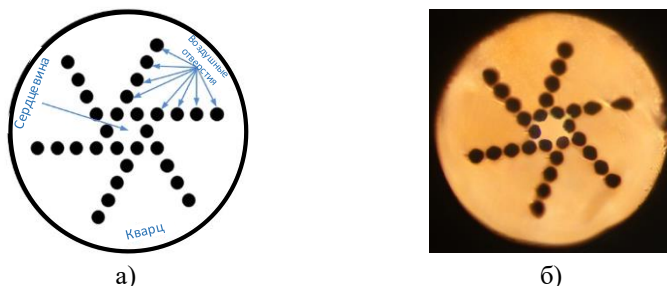


Рис. 1. МСОВ с равноугольной спиральной шестилучевой геометрией:
а) модель, б) снимок торца изготовленного образца

Обсуждаются вопросы подготовки входных данных для описания указанной исследуемой сложной неидеальной волоконно-оптической структуры при выполнении расчетов с помощью строгого численного метода конечных элементов. Представлены некоторые результаты сопоставления радиального распределения полей отдельных направляемых мод (Рис. 2), а также их спектральных характеристик эффективного показателя преломления. Показано, что потенциальные отклонения от желаемой геометрии МСОВ, возникающие из-за особенностей технологического процесса изготовления кварцевого

МСОВ, должны учитываться при проектировании для прогнозирования реальных значений модовых параметров изготовленного МСОВ.

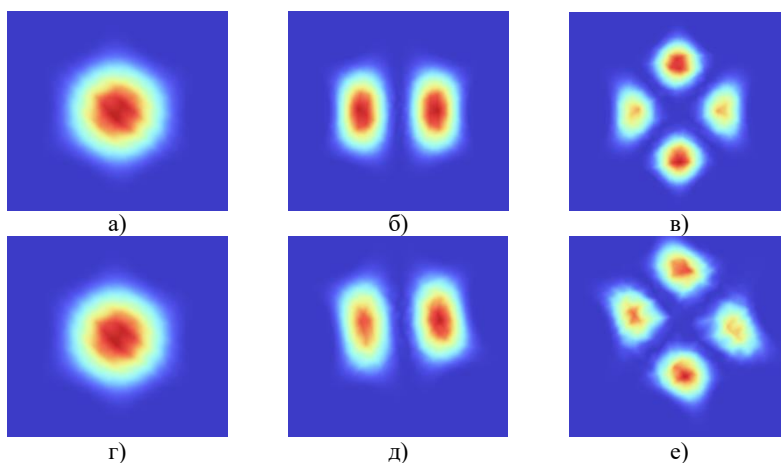


Рис. 2. Результаты вычислений, выполненных с помощью программного обеспечения COMSOL Multiphysics® для распределения полей направленных мод основных и высших порядков: (а)...(в) идеальная модель МСОВ; (г)...(е) реально изготовленный образец МСОВ; (а), (г) основная мода LP₀₁; (б), (д) LP₁₁; (в), (е) LP₂₁

RESULTS OF MODAL ANALYSIS, PERFORMED FOR FABRICATED SILICA MOF WITH EQUIANGULAR SPIRAL SIX-RAY GEOMETRY

Evtushenko A.S.¹, Bourdine A.V.^{1,2,3}, Dashkov M.V.¹

(¹Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,

²Scientific Production Association State Optical Institute named after

*Vavilov S.I., ³Saint Petersburg State University of Telecommunications
named after M.A. Bonch-Bruевич)*

In this paper will be analyze a real silica microstructured optical fiber (MOF) with equiangular spiral six-ray geometry and compare some characteristics with the values obtained from a previously developed model MOF.

ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОРЯДКОВ МОДЫ ПО ИСКАЖЕННОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Евтушенко А.С.¹, Белов М.С.², Бурдин А.В.^{1,2,3}

(¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, ²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М.А. Бонч-Бруевича,

³Научно-производственное объединение государственный оптический институт им. С.И. Вавилова)

В процесс разработки новых оптических волокон (ОВ) для частных практических приложений с конкретными искомыми параметрами осуществляются модовый анализ, расчет спектральных характеристик параметров передачи модового состава, а также непосредственно моделирование процессов распространения оптического излучения. Вне зависимости от выбранного метода расчета (приближённого или точного решения системы уравнений Максвелла) возникает необходимость идентификации порядка моды. Указанная задача существенно усложняется при анализе ОВ сложной конфигурации – например, микроструктурированных (МСОВ), асимметричных и др. ОВ. Отдельно следует отметить расчет промышленных (изготовленных) образцов ОВ (Рис. 1(б)), существенно отличающихся от прототипов с идеализированной симметричной конфигурацией (Рис. 1(а)), что приводит к существенному отклонению радиального распределения полей мод в таких ОВ от модельных световодов.

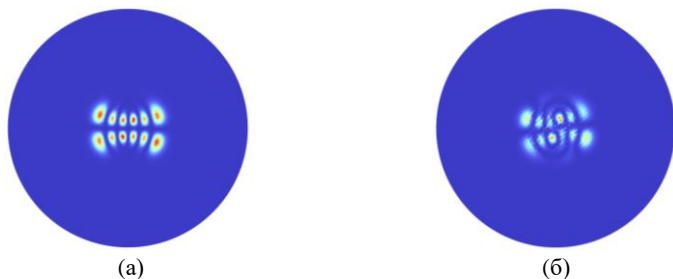


Рис. 1. Примеры изображений радиального распределения поля моды LP_{23} :
(а) модельная (идеализированная) структура МСОВ; (б) асимметричная конфигурация МСОВ (промышленный образец)

Отдельные фрагменты поля могут быть скрыты, смазаны, асимметричны, искажены и пр. Фактически, в настоящее время указанная проблема решается путём визуального субъективного анализа построенного в результате расчетов изображения радиального поля моды непосредственно самим оператором.

В данной работе представлены некоторые результаты исследования потенциальных возможностей применения методов разложения полей и элементов вейвлет-анализа для выявления признаков, которые бы позволили реализовать искомую автоматизированную идентификацию азимутального и радиального порядков моды.

**ISSUES OF MODE ORDER AUTOMATED
IDENTIFICATION VIA DISTORTED RADIAL MODE FIELD
DISTRIBUTION IN OPTICAL FIBERS**

Evtushenko A.S.¹, Belov M.S.², Bourdine A.V.^{1,2,3}

(¹Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, ²Saint-Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M.A. Bonch-Bruевич, ³Scientific Production Association State Optical Institute named after Vavilov S.I.)

We present some results of attempts to localize signs for automated mode order identification during analysis of distorted mode field radial distribution in optical fibers by using methods for mode field decomposition and elements of wavelet analysis.

УДК 621.383

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА
ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗ ДВУХ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ
ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР**

Белов Э.В., Морозов О.Г., Нуреев И.И.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А.Н. Туполева – КАИ)*

Прототип термометра для модернизации основан на структуре волоконного интерферометра. Он изготовлен путем сращивания концов двух параллельных волокон вместе, одно в качестве подводящего, а другое в качестве выводящего волокна. Оплавливая концы волокон, можно получить связь между двумя параллельными сердцевинами волокна. Кроме того, свет подводящего волокна, отраженный огибающей оплавленного торца, может быть связан с отводящим волокном. Таким образом, свет между сердцевинами интерферирует с отраженным светом и образуют модальный интерферометр. Измерение температуры реализовано путем измерения сдвига длины волны резонансных провалов в спектре отражения. В диапазоне температур от 60 до 300 °С соответствующие температурные чувствительности для разных мод составляют 11 и 10,93 пм/°С для процессов нагрева и охлаждения соответственно. Предлагаемый датчик подходит для измерения температуры с высоким пространственным разрешением благодаря своим небольшим размерам. Недостаток – необходимость применения оптического анализатора спектра и широкополосного лазерного излучателя. Данный недостаток может быть устранен при использовании адресных волоконных брэгговских структур, которые записываются в каждое из волокон и использования радиофотонных методов их опроса. При этом измерения сдвига длины волны резонансных провалов в спектре отражения датчика проводится на их составляющих.

**UPGRADE OF TWO-FIBER INTERFEROMETRIC TEMPERATURE
SENSOR BASED ON ADDRESSABLE FIBER BRAGG STRUCTURES**

Belov E.V., Morozov O.G., Nureev I.I.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)*

The report discusses a method for interferometric temperature sensor upgrade based on microwave photonic approach.

РЕГИСТРАЦИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

Дашков М.В., Никулина Т.Г., Ештушенко А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Анализ сигналов акустической эмиссии (АЭ), возникающих при нагрузочных воздействиях на объект, является одним из методов контроля прочности, получивших применение на практике [1]. Представляет интерес адаптация данного подхода для контроля состояния оптических волокон (ОВ). Например, расширение функционала систем автоматизированного мониторинга оптического кабеля возможностью анализа АЭ позволит повысить эффективность эксплуатации волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и обеспечит возможность выявления потенциально критических повреждений на ранней стадии.

Работа посвящена экспериментальной апробации возможности применения фазочувствительного оптического рефлектометра (ФЧОР) для регистрации сигналов акустической эмиссии при формировании дефектов оптического волокна двух видов: в процессе нанесения микротрещины на поверхность оптического волокна и во время приложения растягивающей нагрузки к участку оптического волокна.

В первом способе микротрещина на тестируемом участке ОВ формировалась при помощи прецизионного скалывателя непосредственно в процессе измерения фазочувствительным рефлектометром. В результате были зарегистрированы характерные для акустической эмиссии [2]. На рис. 1 приведены зарегистрированные отклики.

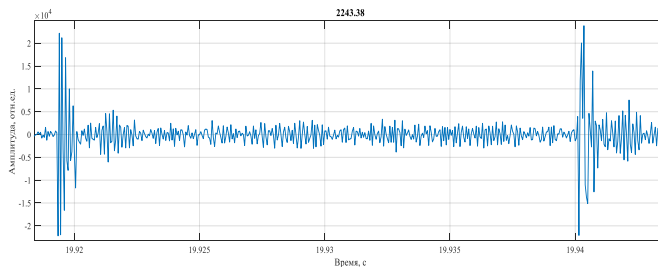


Рис. 1. Зарегистрированные отклики ФЧОР при нанесении дефекта

Во втором способе производилась регистрация сигналов акустической эмиссии в процессе нагружения оптического волокна путем осевого

растяжения. В целях обеспечения требуемого уровня снижения прочности оптического волокна был выполнен расчет требуемой нагрузки для заданного диапазона времени, в течение которого произойдет обрыв оптического волокна.

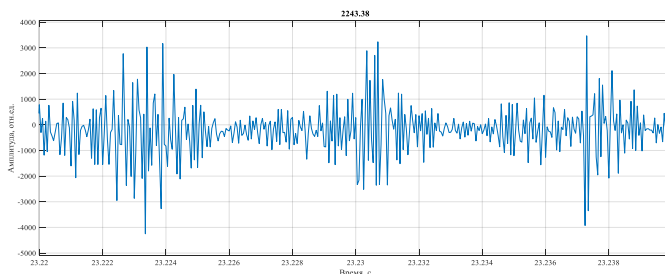


Рис. 2. Зарегистрированные отклики ФЧОР при приложении растягивающей нагрузки

В докладе представлены результаты анализа зарегистрированных сигналов фазочувствительного рефлектометра при разных вариантах воздействия.

1. Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии. М.: Машиностроение, 2006. 829 с.

2. Овчарук В.Н., Пурисев Ю.А. Регистрация и обработка акустико-эмиссионной информации в многоканальных системах: монография. Хабаровск: Издательство Тихоокеанского государственного университета, 2017. 116 с.

REGISTRATION OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS IN OPTICAL FIBRES USING A PHASE-SENSITIVE REFLECTOMETER

Dashkov M.V., Nikulina T.G., Evtushenko A.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents the results of experimental study of an acoustic emission signals in optical fiber using phase-sensitive. The methods of registering acoustic emission signals and two possible ways of forming defects in the optical fiber are described.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПУЧКА ИСТОЧНИКА БЕЛОГО СВЕТА В ДАЛЬНОМ ПОЛЕ НА ВЫХОДЕ КВАРЦЕВЫХ 6-СЕРДЦЕВИННЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С НАВЕДЕННОЙ ЗАКРУТКОЙ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

*Бурдин А.В.^{1,2,3}, Дашков М.В.¹, Евтушенко А.С.¹,
Никулина Т.В.¹, Барашкин А.Ю.¹, Зайцева Е.С.¹,
Бородин А.С.², Пашин С.С.³, Дукельский К.В.^{2,3,4}*

(¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, ²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М.А. Бонч-Бруевича, ³Научно-производственное объединение государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, ⁴Университет ИТМО)

В работе представлены результаты измерения профиля пучка источника белого света при прохождении отрезков длиной 2 м ранее разработанных и успешно изготовленных [1] опытных образцов кварцевых микроструктурированных оптических волокон (МСОВ) с 6 сердцевинами (Рис. 1(а)), легированными GeO_2 , со ступенчатым профилем показателя преломления (высота профиля 0,036) и диаметром 8.7 мкм; внешним диаметром самого МСОВ 125 мкм и наведенной закруткой 100 и 600 об/м (Рис. 1(б), (в)). Полученные результаты экспериментально подтвердили гипотезу о «стягивании» поля суперпозиции мод введенного оптического излучения в условиях равномерной засветки торца МСОВ в центры германосиликатных сердцевин из периферийной (относительно ее положения в структуре ОВ) «кварцевой» части поперечного сечения МСОВ при усилении степени наведенной закрутки.

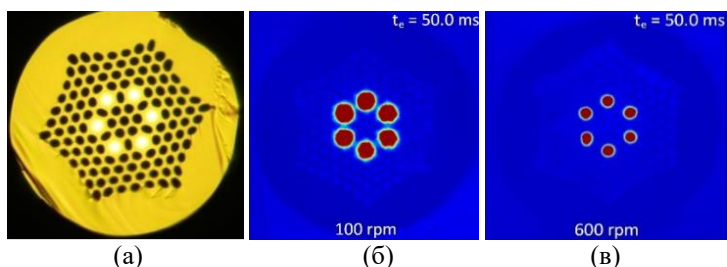


Рис. 1. (а) 6- GeO_2 -сердцевинное МСОВ; измерения профиля пучка источника белого света: (б) закрутка 100 об/м; (в) закрутка 600 об/м

1. Six-Core GeO₂-Doped Silica Microstructured Optical Fiber with Induced Chirality / A.V. Bourdine [et al.] // *Fibers*. 2023. Vol. 11, no. 3. P. 28. DOI: 10.3390/fib11030028

RESULTS OF FAR-FIELD WHITE LIGHT SOURCE BEAM PROFILE MEASUREMENT AT THE OUTPUT END OF SILICA 6-GeO₂-DOPED-CORE MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBERS WITH VARIOUS ORDER INDUCED TWISTING

Bourdine A.V.^{1,2,3}, Dashkov M.V.¹, Evtushenko, A.S.¹,

Nikulina T.V.¹, Barashkin A.Yu.¹, Zaitseva E.S.¹,

Borodinov A.S.², Pashin S.S.³, Dukelskii K.V.^{2,3,4}

(¹Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, ²Saint-Petersburg State University of Telecommunications named after prof.

M.A. Bonch-Bruevich, ³Scientific Production Association State Optical Institute named after Vavilov S.I., ⁴ITMO University)

We present results of far-field white light source beam profile measurements at the output of silica microstructured optical fibers with outer diameter 125 μm, GeO₂-doped step-index cores with diameter 8.7 μm and profile height 0.0360 and induced twisting 100 and 600 revolutions per meter.

**ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ
РАЗДАВЛИВАЮЩЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ
ВОЗДЕЙСТВИИ НА МАЛОМОДОВОЕ ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО**

*Зайцева Е.С.¹, Прапорщиков Д.Е.¹, Волков К.А.¹, Комар М.В.²,
Слепогин А.Ю.², Пашин С.С.³, Хаджаев М.С.⁴, Бурдин А.В.^{1,2,3}*

(¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, ²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М.А. Бонч-Бруевича, ³Научно-производственное объединение государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, ⁴Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезми)

В работе представлены некоторые результаты моделирования, распределенного продольного раздавливающего механического воздействия на кварцевые оптические волокна (ОВ) с увеличенным диаметром сердцевины, функционирующие в маломодовом режиме передачи оптического излучения. Для этой цели использовалась ранее разработанная и экспериментально верифицированная модель кусочно-регулярной маломодовой волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП) [1]. Указанное воздействие было предложено имитировать эквивалентным угловым рассогласованием θ на стыках регулярных сегментов ВОЛП. На первом этапе исследовались многомодовые (ММ) ОВ 50/125 кат. OM2, градиентный профиль показателя преломления которых содержал габаритный провал в центре сердцевины и сильные флуктуации показателя преломления. регулярных сегментов ВОЛП. На первом этапе исследовались многомодовые (ММ) ОВ 50/125 кат. OM2, градиентный профиль показателя преломления которых содержал габаритный провал в центре сердцевины и сильные флуктуации показателя преломления. Полученные результаты подтверждают адекватность предложенного подхода: при «сильном» механическом воздействии ($\theta \geq 4.5^\circ$), искажённый за счет дифференциальной модовой задержки (ДМЗ) импульсный отклик вырождается в сигнал с огибающей квазиагуссовой формы, что ранее было продемонстрировано при проведении экспериментальных измерений ДМЗ на бухтах ММ ОВ кат. OM2, увязанных в «восьмерку».

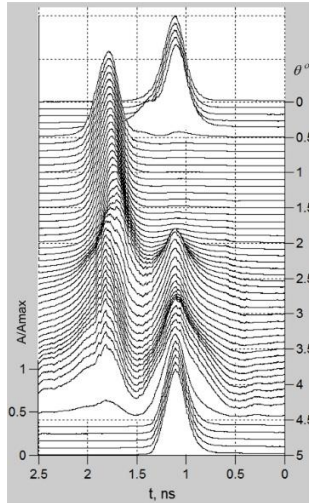


Рис. 1. Импульсный отклик маломодового сигнала

1. Бурдин А.В., Пашин С.С. Оценка коэффициента отражения на разъемном соединении одномодовых оптических волокон по результатам анализа изображений торцевых поверхностей феррул коннекторов // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6, № 4. С. 16 – 27.

ISSUES OF SIMULATION FOR DISTRIBUTED STRESS IMPACT ON FEW-MODE OPTICAL FIBERS

Zaitseva E.S.¹, Praporshchikov D.E.¹, Volkov K.A.¹, Komar M.V.², Slepogin A.Yu.², Pashin S.S.³, Khadjaev M.S.⁴, Bourdine A.V.^{1,2,3}
(¹Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, ²Saint-Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M.A. Bonch-Bruевич, ³Scientific Production Association State Optical Institute named after Vavilov S.I., ⁴Samarkand branch of Tashkent University of Information Technology named after Mukhammad al-Khwarizmi)

We present approach for simulation of longitudinal stress impact on few-mode optical fibers. Proposed solution is based on earlier on developed model of piecewise regular few-mode fiber optic link by varying equivalent angular misalignment at regular spans.

**ГАРМОНИЗАЦИЯ РОССИЙСКИХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ
НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКИХ
ВОЛОКОН И КАБЕЛЕЙ**

Попов Б.В., Попов В.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Задача гармонизации отечественных и международных нормативных документов в области оптических волокон и кабелей – это важнейшая задача, стоящая перед ведущими российскими экспертами – участвующими в работе комитетов и подкомитетов таких международных организаций, как МСЭ-Т, МЭТ и ИСО.

Также актуальным является увеличение количества экспертов, представляющих Российскую Федерацию в этих международных организациях.

Международные и российские стандарты, регламентирующие технические характеристики оптических волокон и кабелей, а также методы и процедуры их испытаний необходимо унифицировать с целью исключения разногласий в толковании одних и тех же терминов, а также их дублирования.

Выпускаемые оптические волокна и кабели должны быть сертифицированными и маркироваться в соответствии с рекомендациями стандартов. Фактически нанесенная на кабель маркировка свидетельствует о том, что оптическое волокно или кабель проверены и получили сертификат соответствия.

**HARMONIZATION OF RUSSIAN AND INTERNATIONAL
REGULATIVE DOCUMENTS IN THE FIELD OPTICAL FIBERS AND
CABLES**

Popov B.V., Popov V.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The issues of harmonization of Russian and international regulatory documents in the field of optical fibers and cables, regulating their technical characteristics, as well as methods and procedures for their testing, are considered. The issues of unification of standards and marking of manufactured optical fibers and cables in accordance with the recommendations of the standards were also considered.

ВИЗУАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ РАЗЪЕМОВ

Волков К.А., Гадзиковский С.Д.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Как известно, развитие инфокоммуникационных технологий приводит к увеличению количества оптических разъемов на сетях связи. Данное обстоятельство, учитывая высокий уровень необходимой надежности оптических соединений, требует проведения визуальной идентификации оптических соединений (разъемов). Визуальная инспекция может проводиться с помощью ручных микроскопов или с применением аппаратно-программных систем. Недостатком использования ручных микроскопов является субъективная оценка, которая дается персоналом, проводившим обследование. Аппаратно-программный комплекс в этом случае производит независимую от измерителя оценку состояния разъема, которая базируется на стандарте ИЕС 61300-3-35. Данный стандарт делит полученный с помощью видеомикроскопа снимок торца разъема на 4 области (область сердцевины оптического волокна, зона оболочки, граница оболочки/ферулы и контактную область). После разделения снимка происходит оценка площади загрязнения в каждой из этих зон, и на основе этого в рамках стандарта выдается решение – годен (PASS) или не годен (FAIL) коннектор. Большинство доступных измерительных аппаратно-программных комплексов, которые применялись для визуальной инспекции оптических разъемов, были произведены за рубежом. Учитывая потребность в подобных решениях, на сегодняшний день актуальна разработка подобных аппаратно-программных комплексов отечественного производства. Для упрощения реализации аппаратного решения в данной работе предлагается использовать стандартный эндоскоп (с интерфейсом OTG (On-The-Go)), который совместим с любым современным смартфоном при использовании адаптера для наиболее распространенных оптических разъемов. Реализацию программной части комплекса предложено осуществить в Embarcadero RAD Studio, которая дает возможность разрабатывать программное обеспечение для стационарных и мобильных платформ. В докладе представлены результаты разработки аппаратно-программного комплекса для визуальной инспекции оптических разъемов.

VISUAL IDENTIFICATION OF OPTICAL CONNECTORS

Volkov K.A., Gadzikowski S.D.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The report presents the results of the development of a hardware and software package for visual inspection of optical connectors.

УДК 621.383

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕФОРМАЦИИ НА ДВУХ ВОЛОКНАХ НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР

Белов Э.В., Морозов О.Г., Нуреев И.И.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ)*

Метод двух волокон с записанными в каждом из них волоконными брэгговскими решетками (ВБР) для одновременного измерения температуры и деформации некоторого материала, в который они встроены, основан на двух предположениях. Первое – волокна обладают существенно различной чувствительностью к деформации и/или температуре. Второе – реакция обеих ВБР на температуру и деформацию может быть описана суммой независимых функций отклика. Точность измерений температуры и деформации с использованием любого из этих датчиков в основном зависит от обусловленности системной матрицы, которая формируется чувствительностью датчика к деформации и температуре, а также разрешением по длине волны системы интеррогатора. К сожалению, датчики с двойной ВБР не образуют хорошо обусловленную системную матрицу, поскольку чувствительность решеток к деформации и температуре на стандартных рабочих длинах волн изменяется очень мало, что приводит к большим ошибкам до 10%. Данный недостаток может быть устранен при использовании вместо ВБР адресных волоконных брэгговских структур и использования радиофотонных методов их опроса. При этом волокна могут быть изготовлены из одного волокна, а дисперсионные оптические фильтры перед фотоприемниками плеч должны иметь различный наклон, создавая разный отклик к температуре и деформации. Ошибка составит – 1%.

UPGRADING A TWO-FIBER TEMPERATURE AND STRAIN SENSOR BASED ON ADDRESSABLE FIBER BRAGG STRUCTURES

Belov E.V., Morozov O.G., Nureev I.I.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)*

The report discusses a method for increasing the resolution of temperature measurements based on two parallel sensors by one order of magnitude.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КВАРЦЕВЫХ 6-СЕРДЦЕВИННЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С НАВЕДЕННОЙ ЗАКРУТКОЙ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Бурдин А.В.^{1,2,3}, Дашков М.В.¹, Евтушенко А.С.¹,

Сачук К.П.², Хаджаев М.С.⁴, Зайцева Е.С.¹,

Демидов В.В.³, Тер-Нерсесянц Е.В.³, Дукельский К.В.^{2,3,5}

¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, ²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М.А. Бонч-Бруевича,

³Научно-производственное объединение государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, ⁴Самаркандский филиал Ташкентского университета информатических технологий имени Мухаммада ал-Хорезми, ⁵Университет ИТМО)

В работе представлены результаты выполнения пилотных сварных соединений, ранее разработанных и успешно изготовленных [1] опытных образцов кварцевых микроструктурированных оптических волокон (МСОВ) с 6 сердцевинами, легированными GeO_2 , внешним диаметром 125 мкм и наведенной закруткой 100 об/метр (Рис. 1(а)) с типовыми телекоммуникационными одноподовыми (SM) и многомодовыми (MM) оптическими волокнами (ОВ).

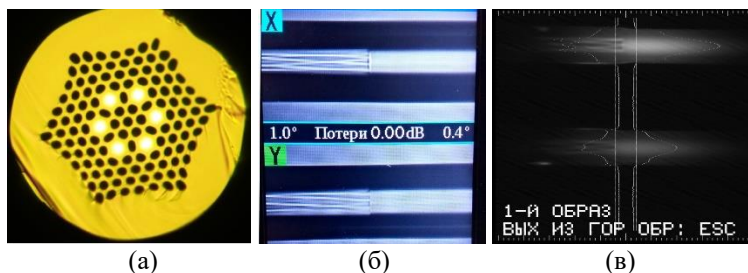


Рис. 1. (а) 6- GeO_2 -сердцевинное МСОВ; сварные соединения с MM ОВ 50/125, выполненные с помощью сварочного аппарата: (б) Fujikura FSM-50S; (в) Ericsson FSU-975

Сварки выполнялись штатными комплектами полевых сварочных аппаратов Fujikura FSU-50S и Ericsson FSU-975 в стандартных режимах соединения «SM-SM» и «MM-MM» без каких-либо модификаций параметров программ. Полученные результаты подтвердили возможность

сращивания МСОВ описанной конфигурации с традиционными ОВ с помощью типового доступного монтажного оборудования.

1. Six-Core GeO₂-Doped Silica Microstructured Optical Fiber with Induced Chirality / A.V. Bourdine [et al.] // *Fibers*. 2023. Vol. 11, no. 3. P. 28. DOI: 10.3390/fib11030028

RESULTS OF FUSION SPLICING ATTEMPTS, PERFORMED FOR TWISTED SILICA 6-GeO₂-DOPED-CORE MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBERS WITH TELECOMMUNICATION OPTICAL FIBERS

Bourdine A.V.^{1,2,3}, Dashkov M.V.¹, Evtushenko A.S.¹,

Sachuk K.P.², Khadjaev M.S.⁴, Zaitseva E.S.¹,

Demidov V.V.³, Ter-Nersesyants E.V.³, Dukelskii K.V.^{2,3,5}

(¹Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,

²Saint-Petersburg State University of Telecommunications named after prof.

M.A. Bonch-Bruevich, ³Scientific Production Association State Optical Institute Named after Vavilov S.I., ⁴Samarkand branch of Tashkent University of Information Technology named after Mukhammad al-Khwarizmi,

⁵ITMO University)

We present results of fusion splicing test series, performed for earlier on first time fabricated silica twisted 6-GeO₂-core microstructured optical fibers and conventional telecommunication optical fibers by the field commercially available equipment.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

Дашков М.В., Никулина Т.Г., Евтушенко А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Явление нелинейной акустической эмиссии лежит в основе одного из перспективных способов контроля прочности материалов и объектов [1]. Принцип основан на изменении нелинейных акустических свойств объектов при появлении дефектов, например, трещин [2]. Наибольший интерес представляет спектральный метод, заключающийся в воздействии на исследуемый объект акустическим сигналом с заданной частотой и регистрации амплитуд высших гармоник, возникающих в результате нелинейного взаимодействия в материале. Полученные соотношения амплитуд гармоник могут служить для оценки давления или выявления внутренних дефектов.

Работа посвящена исследованию возможности регистрации сигналов нелинейной акустической эмиссии оптического волокна (ОВ) при механическом воздействии с использованием фазочувствительного оптического рефлектометра (ФЧОР) и определение потенциальных возможностей его использования для контроля прочности оптического волокна.

Для проведения экспериментальной апробации исследуемое ОВ подключалось к ФЧОР и на заданном участке ОВ осуществлялось контролируемое механическое воздействие для снижения прочности. Для решения данной задачи была разработана методика определения критической нагрузки на ОВ, вызывающей разрушение в пределах заданного интервала времени. Нагруженный участок ОВ подвергался акустическому воздействию с заданной частотой. Полученные данные ФЧОР обрабатывались и анализировались распределения основного тона акустического сигнала и его гармоник по времени и координате ОВ. Так же при этом в спектре фиксировались компоненты, которые могли быть вызваны ограниченной частотой опроса ФЧОР.

В докладе представлена экспериментальная установка для регистрации сигналов нелинейной акустической эмиссии и рассмотрены особенности применения коммерческого фазочувствительного рефлектометра.

При разработке программного обеспечения для анализа регистрируемого сигнала были учтены следующие особенности: ограничение частоты опроса и, как следствие, максимальной частоты

детектируемого сигнала; появление ложных сигналов в спектре при наличии в анализируемом сигнале гармоник, частота которых не соответствует требованиям теоремы Котельникова; ограничение по пространственному разрешению; нелинейность передаточной характеристики фазочувствительного рефлектометра.

В докладе представлены на обсуждение результаты анализа сигналов фазочувствительного рефлектометра при акустическом воздействии на участок ОВ с нанесенным дефектом.

1. Заграй Н.П., Гаврилов А.М. Диагностика и методы измерений на принципах нелинейной акустической эмиссии: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2017. 153 с.

2. Зайцев В.Ю., Прончатов-Рубцов Н.В., Гурбатов С.Н. «Неклассическая» структурно-обусловленная акустическая нелинейность: эксперименты и модели: учебно-методическое пособие. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2007. 223 с.

POTENTIAL POSSIBILITIES OF RECORDING NONLINEAR ACOUSTIC EMISSION IN OPTICAL FIBER

Dashkov M.V., Nikulina T.G., Evtushenko A.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The method for control of non-linear acoustic emission parameters in optical fibers was proposed and the peculiarities of using a phase-sensitive optical reflectometer was considered.

МЕТОД УДАЛЕНИЯ ЗАЩИТНО-УПРОЧНЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Евтушенко А.С., Даишков М.В., Никулина Т.Г., Зайцева Е.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и
информатики)*

В настоящее время оптические волокна (ОВ) получили широкое распространение как в телекоммуникациях, так и в сенсорике. Для некоторых приложений возникает необходимость в удалении защитно-упрочняющего покрытия (ЗУП) с отдельных участков ОВ с высокой точностью при достаточно сложной конфигурации, которые не могут быть обеспечены при использовании механических и химических методов. В докладе будет рассмотрен метод удаления ЗУП ОВ с использованием лазерной установки с числовым программным управлением (ЧПУ).

Данная вариация термического метода обладает рядом преимуществ перед другими традиционными способами снятия ЗУП. Предлагаемая методика позволяет точно контролировать процесс удаления покрытия, минимизируя риск повреждения оптического волокна и обеспечивая высокое качество обработки. Кроме того, использование лазерной установки позволяет автоматизировать процесс, что повышает его эффективность и снижает вероятность ошибок.

На рис. 1 представлена лазерная установка для снятия ЗУП, использованная в работе.

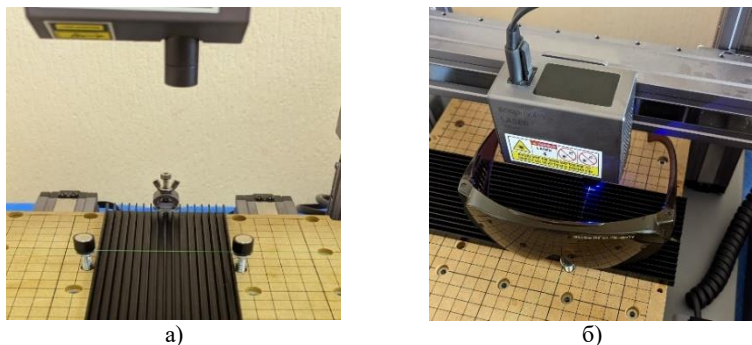


Рис. 1. Лазерная установка для снятия ЗУП
а) процесс укладки волокна, б) снятие ЗУП термическим способом

В докладе будет представлено описание принципа работы лазерной установки, её основных характеристик и параметров [1], а также

рассмотрены практические аспекты по удалению ЗУП ОВ, такие как выбор оптимальных параметров излучения и контроль за процессом обработки.

1. Руководство пользователя продукцией компании Snapmaker [Электронный ресурс] / URL: <https://support.snapmaker.com/hc/en-us/articles/4406229926935-1-Overview> (дата обращения: 16.09.2024).

**THE METHOD OF REMOVING THE PROTECTIVE COATING OF
AN OPTICAL FIBER USING A LASER SYSTEM WITH
COMPUTERIZED DIGITAL CONTROL TECHNOLOGY**

*Evtushenko A.S., Dashkov M.V., Nikulina T.G., Zaytceva E.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)*

Optical fiber are widely used in both telecommunications and sensing applications. For some applications, there is a need to remove the protective hardening coating from individual sections of fibers with high accuracy and sufficiently complex configuration, which cannot be achieved using mechanical and chemical methods. This paper will discuss the method of removing optical fiber coating using a numerically controlled laser system.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНФИГУРАЦИИ
МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН,
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ НА
МОДАХ УГЛОВЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ МОМЕНТОВ**

*Никулина Т.В.¹, Евтушенко А.С.¹, Барашкин А.Ю.¹,
Беляев А.А.², Бурдин А.В.^{1,2,3}*

(¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, ²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М.А. Бонч-Бруевича,

³Научно-производственное объединение государственный оптический институт им. С.И. Вавилова)

На сегодняшний день технология пространственного мультиплексирования (SDM) на модах орбитальных угловых моментов (ОАМ) рассматривается как одно из наиболее перспективных решений реализации нового поколения оптических сетей связи, поддерживающих экстремально высокие скорости передачи информации. Сопоставление опубликованных результатов теоретических и (что самое главное) экспериментальных исследований характеристик различных конфигураций волоконно-оптических направляющих систем, позволило выделить среди прочих «рекордную», с точки зрения числа каналов SDM на модах ОАМ (от 70 до 436), опорную структуру: микроструктурированные оптические волокна с полой кольцевой сердцевиной (HRC MOF – Рис. 1(а), (б)) (см. [1, 2] и др.). Необходимо отметить, что опытные образцы MOF с HRC, легированной GeO₂ были успешно изготовлены в лаборатории отечественного предприятия ([3], Рис. 1(а), (в)). В данной работе проводится сравнительный анализ конструктивных решений, геометрии, параметров и характеристик известных конфигураций HRC MOF как относительно «рекордного» числа каналов SDM ОАМ и, соответственно, пропускной способности, так и адекватности значений этих параметров, с точки зрения физической возможности фабрикация таких МСОВ.

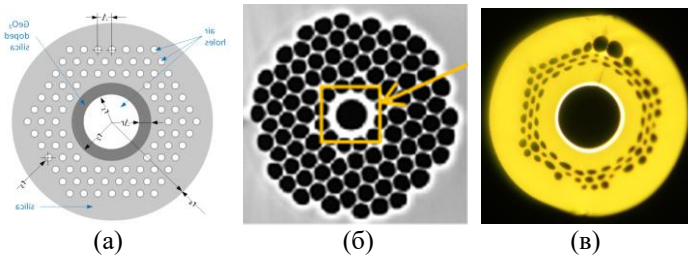


Рис. 1. HRC MOF для SDM OAM: (а) базовая модельная конфигурация [1 – 3]; изготовленные опытные образцы – (б) [1]; (в) [3]

1. Ring-Core Photonic Crystal Fiber for Propagation of OAM Modes / A. Tandje [et al.] // Optics Letters. 2019. Vol. 44, no. 7. P. 1611–1614.

2. A Hybrid Cladding Ring-Core Photonic Crystal Fibers for OAM Transmission with Weak Spin–Orbit Coupling and Strong Bending Resistance / H. Zhang [et al.] // Photonics. 2023. Vol. 10, no. 4. P. 352. DOI: 10.3390/photonics10040352

3. Twisted Silica Few-Mode Hollow GeO₂-Doped Ring-Core Microstructured Optical Fiber / A.V. Bourdine [et al.] // Photonics. 2023. Vol. 10, no. 7. P. 846. DOI: 10.3390/photonics10070846

COMPARISON ANALYSIS OF MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBER CONFIGURATIONS FOR SPATIAL DIVISION MULTIPLEXING ON ORBITAL ANGULAR MOMENTUM MODES

*Nikulina T.V.¹, Evtushenko A.S.¹, Barashkin A.Yu.¹,
Belyaev A.A.², Bourdine A.V.^{1,2,3}*

*(¹Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
²Saint-Petersburg State University of Telecommunications named after prof.
M.A. Bonch-Bruевич, ³Scientific Production Association State Optical
Institute named after Vavilov S.I.)*

We present results of comparison analysis, performed for hollow core ring microstructured optical fibers for spatial division multiplexing technique, based on orbital angular momentum modes.

УДК 681.7.068

ВЫБОР МЕТОДА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА С УДАЛЕННЫМ ЗАЩИТНЫМ УПРОЧНЯЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ

Дашков М.В., Никулина Т.Г., Евтушенко А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

При необходимости оценки прочности оптического волокна (ОВ) без защитного упрочняющего покрытия (ЗУП) встает вопрос о выборе метода испытания. Метод тестирования прочности оптических волокон с ЗУП регламентирован ГОСТ Р МЭК 60793-1-31-2010 [1]. Волокна испытываются путем их натяжения с фиксированной скоростью до разрыва между двумя натяжными барабанами. При этом регистрируется нагрузка, при которой произошел разрыв. Регламентируются два альтернативных метода тестирования:

– метод А, при котором ОВ разрываются путем увеличения расстояния между натяжными барабанами;

– метод В, при котором ОВ разрывают путем намотки одного конца волокна на вращающийся барабан.

В ГОСТ [1] рекомендуется проводить испытания при скоростях растяжения от 2,5%/ мин до 5%/ мин или от 15%/ мин до 25%/ мин.

Для оценки прочности оптического волокна (ОВ) без защитного упрочняющего покрытия (ЗУП) также предлагается использовать метод А или В, регламентированные ГОСТ Р МЭК 60793-1-31-2010, но с внесением некоторых добавлений в методику тестирования, с учетом особенностей испытания ОВ без ЗУП. Так предлагается проводить тестирование с наименьшей из указанных скоростей растяжения – 2,5%/ мин. При проведении тестирования также необходимо фиксировать метод снятия покрытия с оптического волокна, время нахождения ОВ без покрытия до начала тестирования, длину участка без покрытия, длину тестовой базы. Более подробно предлагаемый метод тестирования ОВ без ЗУП рассмотрен в докладе.

1. ГОСТ Р МЭК 60793-1-31-2010. Волокна оптические. Часть 1-31. Методы измерений и проведения испытаний. Прочность при разрыве. М.: Стандартинформ, 2020. 20 с.

CHOOSING A METHOD FOR EVALUATING THE STRENGTH OF AN OPTICAL FIBER WITH A REMOVED PROTECTIVE COATING

Dashkov M.V., Nikulina T.G., Yevtushenko A.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper examines the issues of choosing a method for assessing the strength of an optical fiber with a removed protective reinforcing coating. Testing methods applied to optical fibers with a protective coating are considered and changes to the testing methodology are proposed, taking into account the peculiarities of testing uncoated fibers.

ВОПРОСЫ ВЫБОРА МЕТОДИКИ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Никулина Т.Г., Ревизов И.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Ускоренное старение оптического волокна (ОВ) в лабораторных условиях применяется для моделирования его состояния после длительного периода эксплуатации [1–3]. В большинстве случаев, после процедуры ускоренного старения проводятся исследования механических характеристик оптического волокна (прочности на растяжение, изгиб и т.п.) и/или параметров шероховатости его поверхности, изучаемых с применением микроскопии (электронная, силовая, ближнепольная) [1–3]. Сама процедура ускоренного старения ОВ заключается в его выдержке заданного, как правило, длительного периода времени, в экстремальных условиях температуры и влажности [3]. Конкретная методика ускоренного старения не регламентирована стандартами, отмечается лишь, что условия, создающие старение ОВ должны, как можно сильнее приближаться к реальным условиям эксплуатации волокна в кабеле. Вместе с тем имеющиеся публикации о результатах испытаний механических характеристик ОВ, извлеченных из образцов эксплуатировавшихся длительный срок волоконно-оптических кабелей, показывают, что прочность ОВ не снижается так сильно, как это демонстрируют результаты испытаний прочности ОВ после ускоренного старения [4–5]. В связи с этим актуальным являются вопросы выбора методики ускоренного старения оптического волокна, которая наилучшим образом моделировала бы поведение ОВ в кабеле в процессе его эксплуатации. Данные вопросы рассмотрены в докладе.

1. Accelerated Aging and Life Tests of Optical Fibers / L. Berguiga [et al.] // Optical Fiber and Fiber Component Mechanical Reliability and Testing: Proceedings of SPIE. 2001. Vol. 4215. P. 60–71. DOI: 10.1117/12.424384

2. Matthewson M.J. Kinetics of Degradation During Fatigue and Aging of Fused Silica Optical Fiber // The International Society for Optical Engineering: Proceedings of SPIE. 1994. Vol. 2290. P. 204–210. DOI: 10.1117/12.187417

3. Glaesemann G.S. Optical fiber mechanical reliability [Электронный ресурс] / URL: <https://www.corning.com/media/worldwide/coc/documents/Fiber/white-paper/WP8002.pdf> (дата обращения: 11.09.2024).

4. Mechanical Behavior of Optical Fibers Removed from a Field-Aged Cable / L. Jeffrey [et al.] // Proceedings of IWCS. 1995. Vol. 3257. P. 1–8.

5. Mark L., Kurt M. Field-Again Study Shows Strength of Optical Ground Wite Cable [Электронный ресурс] / URL: <https://www.corning.com/media/worldwide/coc/documents/Fiber/articles/r1082.pdf> (дата обращения: 14.09.2024).

ISSUES OF CHOOSING A TECHNIQUE FOR ACCELERATED AGING OF OPTICAL FIBER

Nikulina T.G., Revizov I.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper provides a comparative analysis of currently existing methods for accelerated aging of optical fiber. It has been shown that the mechanical strength of optical fiber removed from a cable after operation is in most cases higher than the strength obtained after accelerated aging.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОРПУСА ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО

*Смирнов Н.Д., Липатников К.А., Сахабутдинов А.Ж., Харитонов Д.Ю.
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ)*

Важным этапом создания чувствительного элемента является разработка корпуса. В данной работе предлагается осуществлять корпусирование с помощью технологий 3D печати, а именно фотополимерной печати. Смолы используемые для фотополимерной печати имеют большой коэффициент температурного расширения и могут поглощать ряд веществ, что может позволить строить эффективные датчики с их использованием.

Интерферометр Фабри-Перо представляет собой две отражающих поверхности. Расстояние между поверхностями и изменение длины волны влияют на коэффициент пропускания, но лишь при высоком коэффициенте отражения зеркал. Также интерферометры Фабри-Перо могут быть сформированы внутри оптического волокна [1].

На рисунке 1 изображена модель корпуса открытого типа для интерферометра Фабри-Перо. Внутрь цилиндра с одной стороны помещается волокно с ферулой на конце, с другого торца размещается второй отражатель с необходимым зазором. Стоит учитывать, что при такой конструкции чувствительный элемент подвергается воздействию не только температуры, но и влажности воздуха, его составу.

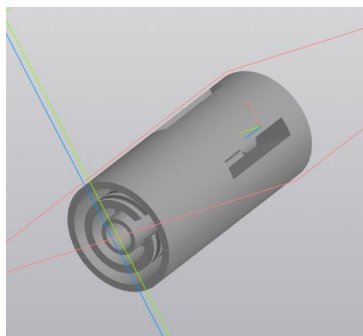


Рис. 1. Модель корпуса интерферометра Фабри-Перо открытого типа

На рис. 2 представлена модель корпуса для интерферометра Фабри-Перо закрытого типа. Разборная конструкция корпуса позволяет разместить

отражатели на установленном расстоянии и зафиксировать их фотополимерной смолой.

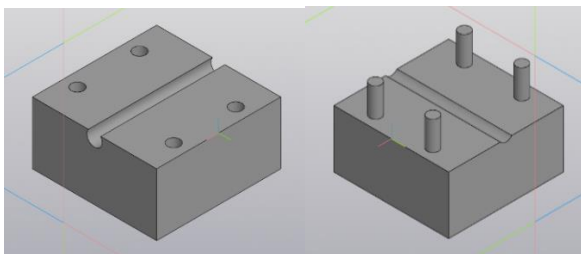


Рис. 2. Модель корпуса интерферометра Фабри-Перо закрытого типа

Закрытый тип позволяет исключить внешние воздействия на датчик. Влажность и состав воздуха не оказывают влияния на измерение температуры.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, <https://rscf.ru/project/23-79-10059/>.

1. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников / под ред. Э. Удда; пер. с англ. И.Ю. Шкадиной. М.: Техносфера, 2008. 518 с.

DEVELOPMENT OF THE HOUSING MODEL FABRY-PEROT INTERFEROMETER

*Smirnov N.D., Lipatnikov K.A., Sakhabutdinov A.Zh., Kharitonov D.Yu.
(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)*

An important stage in the creation of a sensitive element is the development of a housing. In this paper, it is proposed to carry out corpusculatation using 3D printing technologies, namely photopolymer printing. The resins used for photopolymer printing have a large coefficient of thermal expansion and can absorb a number of substances, which may allow the construction of effective sensors using them.

УДК 621.315

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТИ ШПД ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ЗАСТРОЙКИ

Яблочкин К.А., Воропаев А.Ю., Волков И.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Создание высокоскоростных сетей широкополосного доступа (ШПД) невозможно реализовать без строительства новых волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП).

Актуальна задача по экономической оценке применяемых оптических технологий с учетом затрат на ВОЛП для разных вариантов инсталляции сетей ШПД.

В работе рассматриваются основные технико-экономические показатели, позволяющие описать оптическую сеть ШПД и влияние на нее сегмента ВОЛП. Сравнивались ШПД сети при высотной многоквартирной застройке и малоэтажного коттеджного строительства. Были учтены основные особенности их инфраструктуры и факторы, влияющие на стоимость. По результатам расчетов получено, что в зависимости от вариантов расчета основной вклад в стоимость создания высокоскоростных сетей ШПД вносит применяемое активное приемопередающее оборудование. При этом увеличение протяженности сегмента ВОЛП сети ШПД так же приводит к увеличению затрат для рассматриваемой инфраструктуры.

BROADBAND NETWORK RESEARCH FOR VARIOUS BUILDING OPTIONS

Yablochkin K.A., Voropaev A.Yu., Volkov I.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper presents the main technical and economic indicators that describe the optical broadband network and the impact of the fiber optic segment.

УДК 621.315

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Яблочкин К.А., Воропаев А.Ю., Волков И.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В последние годы происходит рост применения разнообразных датчиков на основе оптических волокон в добывающей промышленности, металлургии, автомобилестроении, электронике, авиации, энергетике, медицине, военно-промышленном комплексе и других. Актуальной задачей становится вопрос исследования маломодовых режимов работы волоконно-оптических датчиков при передаче оптического сигнала.

В работе рассматривается волоконно-оптический датчик с чувствительным элементом на базе многомодового оптического волокна (МОВ). Проведен численный расчет параметров волоконно-оптического датчика на базе МОВ с использованием программного обеспечения MATLAB. Описана методика исследования маломодовых режимов работы для разных зон МОВ при передаче оптического сигнала.

RESEARCH OF THE PARAMETERS OF FIBER-OPTICAL SENSORS

Yablochkin K.A., Voropaev A.Yu., Volkov I.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper presents a fiber-optic sensor with a sensitive element based on multimode optical fiber. The calculation of the parameters of a fiber-optic sensor based on a multimode optical fiber using MATLAB software is presented.

СЕКЦИЯ 3

ОБРАБОТКА ОДНОМЕРНЫХ И МНОГОМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

СУПЕРПОЗИЦИИ ФУНКЦИЙ ЦЕРНИКЕ С ОСОБЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Волотовский С.Г.¹, Дзюба А.П.², Хорин П.А.², Хонина С.Н.^{1,2}

(¹Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»), ²Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)

Функции Цернике играют важную роль в оптике, особенно в области адаптивной оптики и анализа волновых фронтов. Они используются для описания и коррекции аберраций, возникающих в оптических системах. В частности, удобно описание аберраций в том, что разложение по функциям Цернике обеспечивает более точное описание формы волнового фронта, минимизируя влияние ошибок в расчетах [1]. В адаптивной оптике базис Цернике используется для корректировки искажений, вызванных атмосферными условиями или недостатками оптических систем [2].

В данной работе рассмотрены свойства функций Цернике и их суперпозиций с особенными свойствами. В частности, парные функции Цернике, имеющие только различие в знаке углового индекса $Z_{n,\pm m}(r, \varphi)$, обеспечивают формирование распределений, интенсивность которых в фокальной плоскости инвариантна к повороту (Рис. 1).

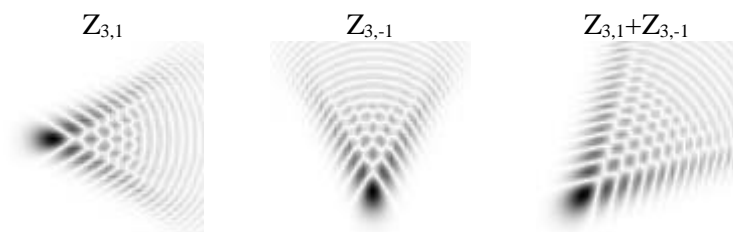


Рис. 1. Примеры парных функций Цернике и их суперпозиции

Кроме того, получено аналитическое выражение для вырожденных суперпозиций функции Цернике с одинаковым радиальным индексом, обеспечивающим формирование распределений с выраженной 1D зависимостью. Выписана явная формула для таких функций, которые обладают свойством ортогональности:

$$V_n(x) = \sum_{q=0}^{n/2} \frac{(-1)^q 2^{(n-2q-1)} (n-q)!}{q!(n-2q)!} x^{(n-2q)} \quad (1)$$

Отметим, что некоторые типы рассмотренных суперпозиций могут затруднять их распознавание по картине интенсивности в фокальной плоскости стандартными алгоритмами уменьшения ошибки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 24-79-10101.

1. Mahajan V.N. Zernike circle polynomials and optical aberration of system with circular pupils // Applied Optics. 1994. Vol. 33, no. 34. P. 8121–8124.

2. Niu K., Tian C. Zernike polynomials and their applications // Journal of Optics. 2022. Vol. 24, no.12. P. 123001. DOI: 10.1088/2040-8986/ac9e08

SUPERPOSITIONS OF ZERNIKE FUNCTIONS WITH SPECIAL PROPERTIES

Volotovskiy S.G.¹, Dzyuba A.P.², Khorin P.A.², Khonina S.N.^{1,2}

(¹Image Processing Systems Institute, Scientific Research Center «Kurchatov Institute», ²Samara National Research University)

We consider special superpositions of Zernike functions which, in particular, have the property of rotation invariance. An analytical expression is obtained for degenerate superpositions with a one-dimensional distribution.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВЕКТОРНЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ С НЕОДНОРОДНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ С ПОМОЩЬЮ ОРБИТАЛЬНОГО УГЛОВОГО МОМЕНТА ПОЛЯРИЗАЦИИ

Ковалёв А.А.^{1,2}, Котляр В.В.^{1,2}

(¹Институт систем обработки изображений НИЦ «Курчатовский институт»), ²Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)

В оптической передаче данных с помощью вихревых пучков принимаемый сигнал может идентифицироваться по орбитальному угловому моменту (ОУМ) [1] или по его топологическому заряду (ТЗ) [2]. Для пучков с цилиндрической симметрией эти величины совпадают, но в общем случае они различаются и могут быть использованы для идентификации световых полей независимо.

ТЗ более устойчив к небольшим искажениям в силу дискретности, однако его трудно измерить экспериментально. Для стандартных круглых вихрей существует масса способов измерения ТЗ, но в общем случае надо интегрировать градиент фазы по контуру в периферийной области. Однако, в этой области фазу трудно измерить из-за малой интенсивности. Напротив, ОУМ измерять легче, потому что на него больше всего влияют области с высокой интенсивностью. Например, можно измерить ОУМ путём вычисления моментов интенсивности [3] или с помощью двух наклонных цилиндрических линз [4].

Наряду со скалярными световыми полями, для передачи данных могут использоваться и векторные поля. Поэтому надо иметь количественные характеристики, позволяющие идентифицировать векторные оптические сигналы. Аналогом ТЗ для векторных полей является индекс поляризационной сингулярности (ИПС) [5], равный числу оборотов, которые делает вектор электрической напряжённости поля при обходе по некоторому контуру на периферии. Проблема экспериментального измерения ИПС та же самая, что и проблема измерения ТЗ у скалярного светового поля – интегрирование по контуру в области малой интенсивности.

В данной работе, по аналогии с ИПС, вводится и исследуется новая величина, аналогичная ОУМ, но характеризующая векторные световые пучки с неоднородной линейной поляризацией в какой-либо поперечной плоскости. По аналогии с ОУМ, мы назвали эту величину ОУМ поляризации. Подобно тому, как ОУМ скалярного пучка характеризует среднее по поперечной плоскости значение производной фазы по угловой полярной координате, взвешенное по интенсивности поля, ОУМ

поляризации векторного пучка точно также характеризует среднее по поперечной плоскости значение производной угла наклона вектора напряжённости по угловой полярной координате, также взвешенное по интенсивности поля. Показано, что ОУМ поляризации сохраняется при распространении, а также установлены его значения для некоторых простых суперпозиций цилиндрических векторных пучков, как соосных, так и со смещением.

Исследование поддержано РФФ № 22-12-00137.

1. Orbital Angular Momentum of Light and the Transformation of Laguerre-Gaussian Laser Modes / L. Allen [et al.] // Physical Review A. 1992. Vol. 45, no. 11. P. 8185. DOI: 10.1103/PhysRevA.45.8185

2. Berry M.V. Optical Vortices Evolving from Helicoidal Integer and Fractional Phase Steps // Journal of Optics A: Pure and Applied Optics. 2004. Vol. 6, no. 2. P. 259. DOI: 10.1088/1464-4258/6/2/018

3. Shaping and Processing the Vortex Spectra of Singular Beams with Anomalous Orbital Angular Momentum / A.V. Volyar [et al.] // Computer Optics. 2019. Vol. 43, no. 4. P. 517–527.

4. Kotlyar V.V., Kovalev A.A., Porfirev A.P. Calculation of Fractional Orbital Angular Momentum of Superpositions of Optical Vortices by Intensity Moments // Optics Express. 2019. Vol. 27, no. 8. P. 11236–11251.

5. Freund I. Poincaré Vortices // Optics Letters. 2001. Vol. 26. P. 1996–1998.

IDENTIFICATION OF VECTOR LIGHT FIELDS WITH INHOMOGENEOUS LINEAR POLARIZATION BY AN ORBITAL ANGULAR MOMENTUM OF POLARIZATION

Kovalev A.A.^{1,2}, Kotlyar V.V.^{1,2}

(¹Image Processing Systems Institute, Scientific Research Center «Kurchatov Institute», ²Samara National Research University)

We introduce and study a new propagation-invariant quantity for describing light fields, orbital angular momentum of polarization. For light fields with inhomogeneous linear polarization, it equals an angular velocity of changing polarization direction, averaged over a transverse plane with intensity as a weight function, similarly to the orbital angular momentum of scalar fields, equal to average angular velocity of phase change. We derive the orbital angular momentum of polarization for several superpositions of cylindrical vector beams, both coaxial or with a transverse shift.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПТОВОЛОКОННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДАТЧИКОВ

*Никитин Н.В.^{1,2}, Харасов Д.Р.¹, Бенгальский Д.М.¹, Трещиков В.Н.¹
(¹ООО «Т8», ²Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ»)*

Распределенные температурные датчики (DTS) становятся стандартным средством измерения в областях пожарной безопасности и геофизического мониторинга [1]. Для измерения абсолютной температуры используются DTS на основе комбинационного рассеяния (R-DTS), а для измерения быстрых (менее 1 с) приращений температуры на основе рэлеевского рассеяния (DTGS) [2]. При этом DTGS не измеряет абсолютное значение температуры, однако может регистрировать малые изменения температуры порядка 0,01°C/сек. Для улучшения точности измерений можно использовать комбинацию показаний обоих приборов с последующей обработкой фильтром Калмана [3]. Объединённый прибор называется eDTS. В данной работе сравнивается температурная чувствительность и время отклика eDTS и R-DTS без и с одинарным и двойным экспоненциальным сглаживанием (EMA и dEMA) на разных расстояниях от начала волокна.

Схема эксперимента показана на рис. 1 (а). Катушки с оптическим волокном были помещены в термокамеру. Сначала волокно удерживалось при температуре 10°C, затем нагревалось на 10°C. Опорный температурный датчик PT1000 был подключен к 6½-разрядному мультиметру Keithley DMM6500. Результаты эксперимента представлены на рис. 1(б). eDTS имеет лучшее время отклика по сравнению с R-DTS+dEMA и R-DTS+EMA. eDTS показал нагрев 90% от установленного нагрева за ~100 мин, что всего на 5-10 мин. медленнее показаний опорного датчика. R-DTS+dEMA за ~130 мин, R-DTS+EMA за ~180 мин. При стационарной температуре было определено среднеквадратическое отклонение (СКО) значений температуры от опорного датчика PT1000. Полученные результаты представлены в табл. 1.

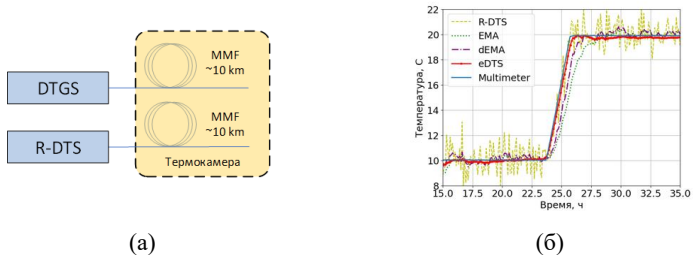


Рис. 1. Экспериментальное сравнение методов улучшения параметров DTS для 10 км: схема эксперимента (а), результаты для точки на 5 км от начала волокна с временем усреднения 3 мин (б).

Таблица 1. Чувствительность температуры для различных методов

Метод	R-DTS	eDTS	dEMA	EMA
СКО, °С	1,1	0,1	0,3	0,3

Таким образом, eDTS имеет лучшую чувствительность и время отклика в сравнении с другими методами улучшения характеристик DTS. Лучшие характеристики для eDTS достигаются за счет подачи на вход функции фильтра Калмана абсолютных значений температуры из R-DTS и приращений температуры с намного меньшим уровнем шума.

1. Ukil A., Braendle H., Krippner P. Distributed Temperature Sensing: Review of Technology and Applications // IEEE Sensors Journal. 2011. Vol. 12, no. 5. P. 885–892.

2. Distributed Temperature Sensor Based on Phase-Sensitive Optical Time-Domain Rayleigh Reflectometer / S.P. Nikitin [et al.] / Laser Physics. 2018. Vol. 28, no. 8. P. 085107. DOI: 10.1088/1555-6611/aac714

3. Lauber T., Lees G. Enhanced Temperature Measurement Performance: Fusing DTS and DAS Results // IEEE Sensors Journal. 2020. Vol. 21, no. 6. P. 7948–7953.

COMPARISON OF METHODS FOR IMPROVING PARAMETERS OF DISTRIBUTED TEMPERATURE SENSORS

*Nikitin N.V.^{1,2}, Kharasov D.R.¹, Bengalskiy D.M.¹, Treshchikov V.N.¹
(¹T8 LLC, ²National research nuclear university «MEPHI»)*

In this work, we compare the temperature sensitivity and response time of fiber-optic Raman distributed temperature sensor with and without assistance of Rayleigh distributed temperature gradient sensor at different distances from the fiber near end with different digital processing algorithms.

МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ АВТОМОБИЛЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВТОПОЛИГОНОМ

Попов С.Б.

(Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт», Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)

В докладе описывается Система видеонаблюдения, управления и доступа к дорогам автополигона (СУА), разработанная и внедрённая на полигоне АО «АВТОВАЗ». Программно-аппаратная система обеспечивает планирование и контроль проведения испытаний, в том числе контроль траектории и параметров движения автомобиля в процессе испытаний на соответствие критериям методики испытаний, повышение безопасности испытаний, формирование отчётов и статистическая обработка по результатам испытаний автомобилей.

СУА решает следующие задачи:

- формирование расписания испытаний и сменного задания для каждого автомобиля в отдельности, коррекция сменных заданий в случае изменения климатических условий (посменно), производственной необходимости, поломок автомобилей;
- контроль прохождения испытаний каждого автомобиля на основе видеомониторинга и GPS-трекинга, автоматизация формирования протоколов испытаний водителями;
- управление проведением испытаний с использованием устройств регулирования доступа к испытательным участкам;
- хранение данных видеомониторинга и gps-треков для последующего анализа испытаний, создание отчётов по количеству и качеству проведённых испытаний, в том числе по видам испытаний.

Для повышения надёжности и точности контроля траектории и параметров движения автомобиля при проведении испытаний реализован мультимодальный подход с использованием средств видеонаблюдения, видеоаналитики и фиксации GPS-треков автомобиля мобильными устройствами, размещаемыми в автомобиле.

Необходимость комплексирования GPS-трекинга и видеомониторинга связана с особенностями специальных испытательных участков, дорожный профиль и искусственные неровности которых укрыты от снега и других осадков железным ангаром, экранирующим сигналы GPS. Одновременно на таких участках должна обеспечиваться повышенная точность контроля траектории и скорости движения автомобиля с тем,

чтобы воздействие неровностей на автомобиль полностью соответствовало запланированным ударным и вибрационным нагрузкам.

Система видеомониторинга СУА включает видеокамеры на трёх специальных испытательных участках, которые контролируют прохождение испытываемых автомобилей внутри ангаров, подсистемы управления камерами (ПУ), подсистемы видеоархива (ПХ) и подсистемы видеоаналитики (ПА). Система видеомониторинга обеспечивает как оперативный мониторинг прохождения испытательных участков оператором, так и точный контроль траектории и параметров движения автомобиля в процессе испытаний специально разработанным программным обеспечением (ПО) ПА.

На настоящий момент ПА имеет следующий функционал: детектирование автомобиля и фиксация времени начала/завершения прохождения участка испытаний; контроль траектории; измерение скорости; сигнализация об отклонении траектории и/или скорости от предписанной. ПО ПА реализовано с учётом значительных мешающих факторов, связанных с сезонными и суточными изменениями естественного освещения, сложностью работы в ночных условиях из-за засветки от фар автомобилей и внутреннего освещения ангаров в момент его включения автоматом обнаружения движения. Результаты работы ПА комплексированы с данными GPS-треков автомобиля, которые передаются в СУА мобильными устройствами после завершения смены.

MULTIMODAL OPTICAL MONITORING OF CAR TESTING IN THE PROVING GROUND MANAGEMENT SYSTEM

Popov S.B.

(Scientific Research Center, Samara National Research University)

The report describes the Proving Ground Management System developed and implemented at the test site of AVTOVAZ in the village of Sosnovka. The hardware and software system ensures planning and control of testing, including monitoring the trajectory and parameters of vehicle movement during testing for compliance with the criteria of the test methodology. A multimodal approach has been implemented that integrates video surveillance, video analytics and recording of vehicle GPS tracks by mobile devices placed in the vehicle to improve the reliability and accuracy of monitoring the trajectory and parameters of vehicle movement during testing.

ОСОБЕННОСТИ ДИФРАКЦИИ ГАУССОВЫХ ПУЧКОВ И ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ НА МАССИВАХ ТОЧЕЧНЫХ СУБВОЛНОВЫХ МИКРОСТРУКТУР

Савельев Д.А.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»)

Для фокусировки пучков в ближней зоне оптических элементов известно использование таких микрооптических объектов, как микросферы, микроцилиндры, конусы, отдельные ступени [1, 2], их массивов [3, 4], а также массивов микролинз [5]. Для эффективной работы такие оптические элементы выполняются с разрешением микроструктуры, сравнимой с длиной волны излучения. Высокое разрешение микроструктур определяет применяемые литографические методы изготовления, такие как электронная [6], ближнеполюсная [3] и 3D-литография [5].

Гауссовы и вихревые пучки хорошо известны своим применением для ряда приложений [7], среди которых следует отметить острую фокусировку [2], оптическую передачу информации [8], оптическое манипулирование [9].

В данной работе методом конечных разностей во временной области было проведено моделирование дифракции мод Лагерра-Гаусса (1,0) и гауссовых пучков с круговой поляризацией (при длине волны λ равной 0,532 мкм.) на массивах субволновых микроцилиндров различного радиуса и высоты. Численное моделирование показало, что уменьшение диаметра микроцилиндров приводит к уменьшению размера фокального пятна и световой иглы для гауссова пучка до $\text{FWHM} = 0,71\lambda$ при диаметре цилиндров $d = 0,64\lambda$. Максимальный размер световой иглы на оптической оси из рассмотренных случаев ($d = 1,06\lambda$, $0,85\lambda$, и $0,64\lambda$) был получен для случая $d = 1,06\lambda$ ($\text{DOF} = 3,94\lambda$).

Следует отметить формирование оптических ловушек, полученных для всех рассмотренных случаев массивов структур. Причём при уменьшении размеров микроцилиндров формируется больше локальных минимумов. Также следует отметить, что увеличение высоты микроцилиндров приводило в ряде случаев к формированию пика интенсивности внутри элемента. Моделирование показало, что высота рассматриваемых массивов точечных квазипериодических структур $h = 0,21\lambda$ приводит к формированию максимумов интенсивности вне элемента для всех рассмотренных случаев.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках выполнения Государственного задания, проект № FSSS-2023-0006.

1. Rezaei B., Yahyapour B., Darafsheh A. Terahertz Tunable Three-Dimensional Photonic Jets // Scientific reports. 2024. Vol. 14, no. 1. P. 16522. DOI: 10.1038/s41598-024-64158-6

2. Savelyev D., Kazanskiy N. Near-Field Vortex Beams Diffraction on Surface Micro-Defects and Diffractive Axicons for Polarization State Recognition // Sensors. 2021. Vol. 21, no. 6. P. 1973. DOI: 10.3390/s21061973

3. Massively Parallel Direct Writing of Nanoapertures Using Multi-Optical Probes and Super-Resolution Near-Fields / C. Park [et al.] // Microsystems & Nanoengineering. 2022. Vol. 8, no. 1. P. 101.

4. Kotlyar V.V., Stafeev S.S., Feldman A.Y. Photonic Nanojets Formed by Square // Computer Optics. 2014. Vol. 38, no. 1. P. 72–80.

5. Micro-Optics 3D Printed Via Multi-Photon Laser Lithography / D. Gonzalez-Hernandez [et al.] // Advanced Optical Materials. 2023. Vol. 11, no. 1. P. 2201701. DOI: 10.1002/adom.202370001

6. Chen Y. Nanofabrication by Electron Beam Lithography and its Applications: A Review // Microelectronic Engineering. 2015. Vol. 135. P. 57–72.

7. OAM Beam Generation in Space and its Applications: A Review / Y. Lian [et al.] // Optics and Lasers in Engineering. 2022. Vol. 151. P. 106923. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2021.106923

8. Khonina S.N., Karpeev S.V., Butt M.A. Spatial-Light-Modulator-Based Multichannel Data Transmission by Vortex Beams of Various Orders // Sensors. 2021. Vol. 21, no. 9. P. 2988. DOI: 10.3390/s21092988

9. Partially coherent vortex beams: Fundamentals and applications / M. Dong [et al.] // Science China Physics, Mechanics & Astronomy. 2021. Vol. 64, no. 2. P. 224201. DOI: 10.1007/s11433-020-1579-9

PECULIARITIES OF GAUSSIAN BEAMS AND OPTICAL VORTICES DIFFRACTION ON ARRAYS OF POINT SUBWAVELENGTH MICROSTRUCTURES

Savelyev D.A.

*(Samara National Research University, Image Processing Systems Institute,
Scientific Research Center «Kurchatov Institute»)*

The finite difference time domain method was used to simulate the diffraction of Laguerre-Gaussian (1, 0) modes and Gaussian beams on arrays of subwavelength micro-cylinders with different radius and heights in this paper.

**MACHINE LEARNING ARCHITECTURES
FOR EFFECTIVE CLASSIFICATION AND PROCESSING
OF ONE-DIMENSIONAL OPTICAL SIGNALS**

Khastiev S.R., Makarov R.A., Sakhabutdinov A.Zh.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)*

The analysis and processing of one-dimensional signals represent a critical challenge in various scientific domains, particularly within optical systems. These time-dependent signals, typically acquired from optical sensors or fiber-optic systems, encapsulate dynamic parameters such as luminous flux, intensity, and phase, which are essential for real-time monitoring and analysis of dynamic processes. Recent advancements in neural networks have significantly improved the classification of such signals, particularly in the areas of anomaly detection, predictive modeling, and pattern recognition [1, 2]. This study focuses on applying neural networks to the processing and analysis of one-dimensional optical signals. Neural network architectures offer distinct advantages depending on the nature and complexity of the data.

Recurrent Neural Networks (RNNs) are designed to handle sequential data by maintaining and processing temporal dependencies across multiple time steps. This capability makes them well-suited for problems characterized by temporal correlations.

Long Short-Term Memory (LSTM) networks, a specialized subclass of RNNs, address the issue of vanishing gradients – a limitation of traditional RNNs – by incorporating mechanisms that retain long-term dependencies. Consequently, LSTMs are widely used in predictive modeling and anomaly detection within optical systems due to their enhanced ability to capture and leverage temporal information.

Convolutional Neural Networks (CNNs), while primarily employed for image processing, can be adapted to extract temporal features such as frequency components and amplitude variations. One-dimensional CNNs (1D CNNs) have demonstrated effectiveness in classification tasks, such as detecting variations in spectral properties or intensity within optical systems [3].

Temporal Convolutional Networks (TCNs) represent a novel class of neural networks that utilize convolutional filters to process sequential data. Unlike RNNs, TCNs can capture both local and global dependencies within time series through the use of dilated convolutions. This capability provides an advantageous alternative to recurrent networks, making TCNs particularly suitable for analyzing one-dimensional optical signals with extended temporal dependencies.

Hybrid models integrate CNNs and RNNs, leveraging their complementary strengths to extract local temporal features while using LSTM networks to analyze long-term dependencies in temporal data. This approach is particularly effective for problems where signals exhibit both localized fluctuations and global trends. In conclusion, the application of advanced neural network architectures significantly enhances the processing and analysis of one-dimensional optical signals. RNNs, LSTMs, CNNs, and TCNs each offer unique strengths, making them suitable for various aspects of signal classification, prediction, and anomaly detection. Hybrid models, which combine these approaches, provide a comprehensive solution for handling both local and global temporal dependencies. The continued development and integration of these machine learning techniques promise to further improve the accuracy and efficiency of optical signal analysis in diverse scientific and industrial applications.

1. Machine-Learning-Based Anomaly Detection in Optical Fiber Monitoring / K. Abdelli [et al.] // Journal of Optical Communications Networking. 2022. Vol. 14, no. 5. P. 365–375.

2. Computer Vision and Deep Learning–Based Data Anomaly Detection Method for Structural Health Monitoring / Y. Bao [et al.] // Structural Health Monitoring. 2019. Vol. 18, no. 2. P. 401–421.

3. Application of Neural Network Algorithms for Central Wavelength Determination of Fiber Optic Sensors / T. Agliullin [et al.] // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, no. 9. P. 5338. DOI: 10.3390/app13095338

АРХИТЕКТУРЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ И ОБРАБОТКИ ОДНОМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Хастиев Ш.Р., Макаров Р.А, Сахабутдинов А.Ж.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ)*

Применение передовых архитектур нейронных сетей значительно расширяет возможности обработки и анализа одномерных оптических сигналов. Архитектуры RNN, LSTM, CNN и TCN обладают уникальными преимуществами, что делает их подходящими для различных аспектов классификации сигналов, прогнозирования и обнаружения аномалий. Развитие и интеграция этих методов машинного обучения обещает дальнейшее повышение точности и эффективности анализа оптических сигналов в различных научных и промышленных приложениях.

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ФОТОННОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ДВУХДИАПАЗОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ С ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМ ИСТОЧНИКОМ

Степанов И.В., Любопытов В.С., Грахова Е.П.
(Уфимский университет науки и технологий)

Одновременное применение двух диапазонов длин волн для анализа тканей методом оптической когерентной томографии (ОКТ) позволяет увеличить разрешающую способность, контрастность изображения и глубину сканирования [1]. Помимо этого, различные диапазоны длин волн применяются для анализа различных типов тканей и патологий, соответственно, комбинация двух и более диапазонов длин волн в одной системе ОКТ позволяет расширить область её применения [2].

Однако классические системы ОКТ (в том числе и двухдиапазонные) реализованы на основе дискретных оптических компонентов, что ограничивает их применение для интраоперационной диагностики. Возможным решением данной проблемы является реализация компонентов системы ОКТ на основе технологии интегральной фотоники [3].

Для платформы нитрид кремния была разработана схема фотонной интегральной схемы (ФИС) для двухчастотной системы ОКТ (Рис. 1). На ФИС расположены оптические триггеры и интерференционные схемы для двух диапазонов длин волн.

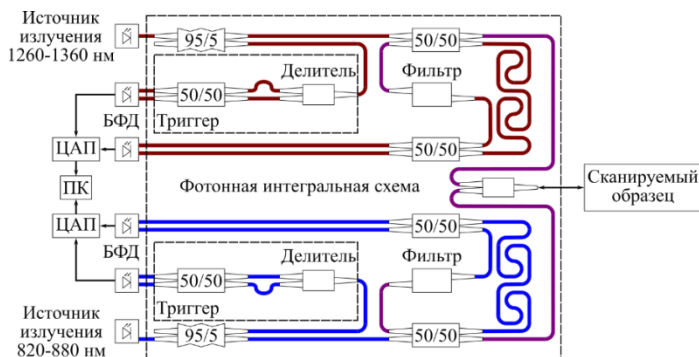


Рис. 1. Предлагаемая схема системы ОКТ: БФД – балансный фотодиод; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; ПК – персональный компьютер. Красным показаны волноводы, где распространяется излучение от источника излучения 1260-1360 нм, синим – 820-880 нм, фиолетовым – от обоих

Для разделения частотных диапазонов были использованы фильтры, представляющие собой многомодовый ответвитель, длина которого обеспечивает высокое затухание сигнала вне требуемого диапазона. Ввод и вывод излучения на ФИС осуществляется с помощью сужающихся по экспоненте волноводов. В данном случае такая форма обусловлена большими эффективностью ввода-вывода излучения и линейностью амплитудно-частотной характеристики.

Для верификации предложенного дизайна была разработана численная модель в программном обеспечении Ansys Lumerical. Результаты моделирования показывают работоспособность схемы для расстояний между торцом ФИС и сканируемым объектом от 3 до 6 мм.

Стоит отметить, что дальнейшее улучшение производительности предлагаемой схемы связано с увеличением линейности амплитудно-частотных характеристик отдельных элементов ФИС и повышением уровня интеграции компонентов оптической части системы ОКТ.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в молодёжной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

1. Dual Band Dual Focus Optical Coherence Tomography for Imaging the Whole Eye Segment / S. Fan [et al.] // Biomedical Optics Express. 2015. Vol. 6, no. 7. P. 2481. DOI: 10.1364/BOE.6.002481

2. Optical Coherence Tomography: A Review / N. Eladawi [et al.] // Diabetes and Fundus OCT. 2020. P. 191–221.

3. Miniaturizing optical coherence tomography / E.A. Rank [et al.] // Translational Biophotonics. 2022. Vol. 4, no. 1–2. DOI: 10.1002/tbio.202100007

A NUMERICAL MODEL OF THE PHOTONIC INTEGRATED CIRCUIT FOR THE DUAL BAND SWEEPED-SOURCE OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY

*Stepanov I.V., Lyubopytov V.S., Grakhova E.P.
(Ufa University of Science and Technology)*

Authors present a photonic integrated circuit design for the dual band swept-source optical coherence tomography. Presented design is developed for the silicon nitride integrated photonics platform. Design verification is performed by numerical simulation in the Ansys Lumerical software.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ
В ЗАДАЧАХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СЕНСОРИКИ***Макаров Р.А., Валеев Б.И., Хастиев Ш.Р., Сахабутдинов А.Ж.**(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ)*

В последнее время в различных сферах науки и техники широкое применение находят искусственные нейронные сети [1, 2]. Приведем примеры применения нейросетевых алгоритмов для решения задач волоконно-оптической сенсорики.

Одной из решаемых задач, является уменьшение шума одномерного сигнала. Для решения задачи был сгенерирован набор сигналов с шумом и без шума, первый является входным сигналом искусственной нейронной сети, второй – желаемым результатом работы. Для решения задачи реализована полносвязная нейронная сеть, размер входного слоя, который соответствует размеру входного сигнала. После чего сигнал обрабатывается двумя скрытыми слоями и подается на выходной слой. На рис. 1 представлен результат работы модели.

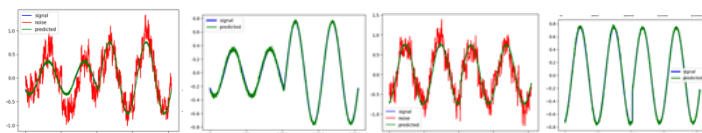


Рис. 1. Пример входных и предсказанных сигналов

По результатам исследований был сделан вывод о возможности успешного применения нейронной сети для решения задач очищения одномерных сигналов от фликкер-шумов ($1/f$).

Следующей задачей, на которой тестировали возможности, была задача определения центральной длины волны резонансных структур [3].

Для обучения была реализована полносвязная искусственная нейронная сеть, состоящая из трех слоев: 19 нейронов во входном слое, 10 нейронов в скрытом слое, 1 нейрон в выходном слое. Модель обучалась 1027 тыс. итераций. Полученный результат позволил определить положение пика центральной длины волны волоконной брэгговской решетки с точностью не ниже 0,55 нм в диапазоне длин волн от 1510 до 1590 нм с изначальной дискретизацией данных 150 нм. Пример работы модели представлен на рис. 2.

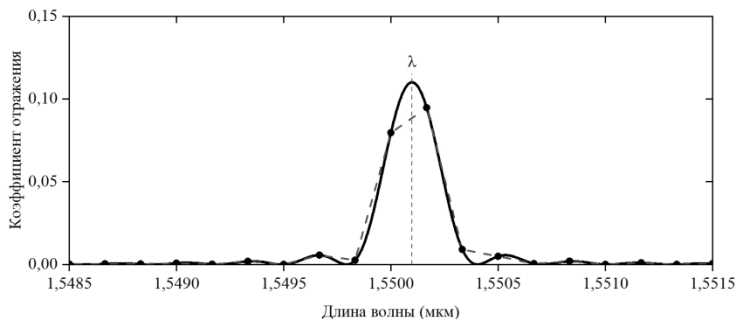


Рис. 2. Пример определения центральной длины волны

Был сделан вывод, что применение искусственных нейронных сетей позволяет решать различные задачи в области волоконно-оптической сенсорики с достижением необходимой, наперед заданной, точности. Кроме того, используя возможности нейронных сетей как универсального интерполирующего инструмента, видится значительный их потенциал в задачах калибровки различных сенсорных устройств и систем.

1. Zhang D., Tan Z. A Review of Optical Neural Networks // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, no. 11. P. 5338. DOI: 10.3390/app12115338
2. Deep Neural Network Equalization for Optical Short Reach Communication / M. Schaedler [et al.] // Applied Sciences. 2019. Vol. 9. P. 4675. DOI: 10.3390/app9214675
3. Application of Neural Network Algorithms for Central Wavelength Determination of Fiber Optic Sensors / T. Agliullin [et al.] // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, no. 9. P. 5338. DOI: 10.3390/app13095338

MATHEMATICAL APPARATUS OF FUZZY LOGIC IN PROBLEMS OF FIBER-OPTIC SENSORICS

Makarov R.A., Valeev B.I., Khastiev S.R., Sakhabutdinov A.Zh.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)*

Recently, artificial neural networks have been widely used in various fields of science and technology. In this work, a study was conducted on the use of neural network algorithms to solve problems of fiber-optic sensing.

**ВЛИЯНИЕ ВОЛНОВЫХ АБЕРРАЦИЙ НА КАРТИНУ
ДИФРАКЦИИ БИНАРНОГО АКSIKОНА**

Серафимович Д.П.¹, Хорин П.А.¹, Хонина С.Н.^{1,2}

(¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, ²Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»)

Хорошо известно, что аксикон [1] формирует бездифракционные пучки Бесселя, которые за счёт своей структуры очень чувствительны к недостаткам оптической системы или искажениям волнового фронта, так как изменения в распределении интенсивности при распространении пучка Бесселя гораздо более заметны и наглядны и наступают при меньших фазовых искажениях, чем для пучков с равномерной интенсивностью [2]. Данный факт делает их перспективными для детектирования и анализа таких искажений, в том числе, с применением средств интеллектуального анализа.

В данной работе выполнено сравнительное моделирование влияния волновых aberrаций в фокальной плоскости при дополнительной аподизации фокусирующей системы фазовым бинарным аксиконом. В этом случае функция рассеяния точки (ФРТ) вместо точки становится раздвоенным кольцом (Рис. 1, первые два столбца). Это приводит к большей визуальной площади искажений при появлении каких-либо aberrаций в оптической системе или волновом фронте (Рис. 1, последние два столбца). Данная особенность позволит увеличить эффективность применения нейронных оптических сетей в задаче распознавания aberrаций волнового фронта по картине ФРТ, так как это увеличивает отличие дифракционных картин для разных уровней и типов aberrаций.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 24-79-10101.

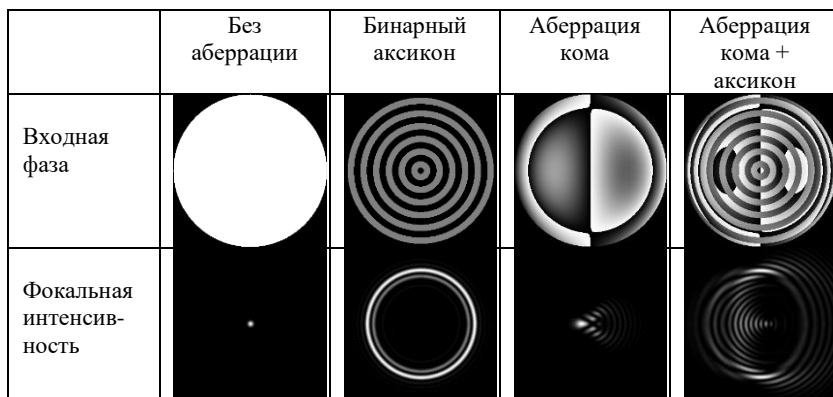


Рис. 1. Сравнение картин интенсивности в фокальной плоскости в отсутствии (два первых столбца) и при наличии (два последних столбца) aberrаций в обычной системе и при аподизации фазовым бинарным аксиконом

1. Jaroszewicz Z., Burvall A., Friberg A.T. Axicon – the Most Important Optical Element // Optics & Photonics News. 2005. Vol. 16, no. 4. P. 34–39.

2. Modern Types of Axicons: New Functions and Applications / S.N. Khonina [et al.] // Sensors. 2021. Vol. 21, no. 19. P. 6690. DOI: 10.3390/s21196690

INFLUENCE OF WAVE ABERRATIONS ON THE DIFFRACTION PATTERN OF A BINARY AXICON

Serafimovich D.P.¹, Khorin P.A.¹, Khonina S.N.^{1,2}

(¹Samara National Research University, ²Image Processing Systems Institute, Scientific Research Center «Kurchatov Institute»)

We realize a comparative modeling of the influence of wave aberrations in the focal plane with additional apodization of the focusing system by a phase binary axicon. It is shown that the presence of an axicon leads to a larger visual area of distortion when aberrations appear which potentially increases the efficiency of their recognition by machine learning.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕПАРАКСИАЛЬНОГО
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПУЧКОВ СФОРМИРОВАННЫХ
ВИХРЕВЫМИ ДИФРАКЦИОННЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ
ЭЛЕМЕНТАМИ**

Дюкарева О.А.^{1,2}, Порфирьев А.П.^{1,2}

(¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, ²Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»)

Вихревые фазовые дифракционные оптические элементы применяются в широком спектре задач, в том числе в задачах детектирования мультиплексированных пучков [1, 2], поскольку позволяют варьировать степени свободы (следовательно, информационной нагрузки) как за счет топологических зарядов оптических вихрей, так и благодаря использованию различных типов поляризации.

В работе на основе использования непараксиального векторного оператора распространения Рэлея-Зоммерфельда исследуются свойства пучков, сформированных вихревыми дифракционными линзами и аксиконами при освещении излучением с различным состоянием поляризации. Рассмотрены как однородные типы поляризации (линейная и круговая), так и неоднородные (радиальная и азимутальная).

Для вихревых пучков первого порядка при линейной и круговой поляризации (направление которой противоположно направлению фазовой сингулярности) формируется ненулевое значение интенсивности на оптической оси за счет вклада продольной компоненты электрического поля E_z , поскольку ее влияние в непараксиальной области велико. При радиальной и азимутальной поляризациях в присутствии вихревой фазы ненулевое значение на оптической оси достигается за счет поперечных компонент E_x и E_y . Данная ситуация существенно отличается от случая невихревых пучков когда ненулевое значение на оси формируется только для радиально-поляризованного пучка за счет продольной компоненты E_z .

Отдельно рассмотрена возможность варьирования вклада компонент в общую интенсивность для гибридных типов неоднородной поляризации, в том числе, суперпозиции радиальной и азимутальной поляризаций. Сочетание поляризации и вихревой фазовой сингулярности обеспечивает больше степеней свободы в информационной нагрузке пучка [1, 2], а также в его свойствах, влияющих на взаимодействие с веществом [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-79-10007.

1. Binary Diffractive Optics for 3D-demultiplexing of OAM Beams / A.P. Porfirev [et al.] // Journal of Physics: Conference Series V. 2018. Vol. 1124. P. 051015. DOI: 10.1088/1742-6596/1124/5/051015

2. Diffractive Optical Elements for Multiplexing Structured Laser Beams / N.L. Kazanskiy [et al.] // Quantum Electronics. 2020. Vol. 50. P. 629–635.

3. Structured Polarized Laser Beams for Controlled Spiral-Shaped Mass Transfer in Azopolymer thin Films / A.P. Porfirev [et al.] // Applied Optics. 2024. Vol. 63, no. 14. P. 3779–3784.

MODELING OF NONPARAXIAL PROPAGATION OF BEAMS GENERATED BY VORTEX DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENTS

Dyukareva O.A.^{1,2}, Porfirev A.P.^{1,2}

(¹Samara National Research University,

*²Image Processing Systems Institute, Scientific Research Center «Kurchatov
Institute»)*

Based on the use of the non-paraxial vector Rayleigh-Sommerfeld propagation operator, we consider the properties of beams formed by vortex diffraction lenses and axicons under illumination with radiation of different polarization states are investigated. We investigate both uniform types of polarization (linear and circular) and non-uniform (radial, azimuthal, and hybrid). The combination of polarization and vortex phase singularity provides more degrees of freedom in the information load of the beam, as well as in its properties that affect the interaction with matter.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ СРЕД НА
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПУЧКОВ ЛАГЕРРА-ГАУССА В КВАДРАТЕ***Савельева А.А.^{1,2}, Козлова Е.С.^{1,2}, Котляр В.В.^{1,2}**(¹Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт», ²Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва)*

Передача оптических сигналов в свободном пространстве является одной из приоритетных задач современной оптики. Основная трудность этого процесса заключается в том, что при распространении оптический сигнал попадает под воздействие внешней среды, в следствие чего он может быть искажен и ошибочно интерпретирован.

Для передачи информации довольно часто используются разнообразны вихревые пучки. В качестве примеров можно привести семейство вихревых пучков Лагерра-Гаусса и их различных модификаций, которые уже на протяжении длительного времени вызывают устойчивый интерес в связи с их широким практическим применением.

В данной работе исследуется влияние турбулентных сред на распространяющиеся в них вихревые пучки. Известно, что метод плавных возмущений, или метод Рытова, является одним из классических методов описания распространения волны через турбулентную атмосферу [1]. В данной работе использовался метод, описанный в статье [2] и соответствующий методу Рытова [1].

Сначала был рассмотрен новый тип пучков, описанный в работе [3], который является модификацией пучка Лагерра-Гаусса и называется пучок Лагерра-Гаусса в квадрате. Так как данные пучки являются новым семейством пучков, для оценки полученных результатов влияния турбулентности, аналогичные исследования были проведены для классических мод Лагерра-Гаусса.

С помощью численного моделирования исследовалось влияние турбулентных сред на топологический заряд (ТЗ) рассматриваемых пучков. Для вычисления ТЗ использовалась формула М.В. Берри [4]. Для моделирования были выбраны следующие значения азимутального и радиального индексов: $m = 3$, $n = 2$ и $m = 15$, $n = 2$. Ширина пучка w была выбрана равной 0,5 мм и 0,25 мм. Для среды варьировались радиус когерентности ρ_0 и интенсивность турбулентности σ . Были численно рассчитаны значения топологического заряда и их отклонения от теоретического значения заряда при распространении пучков в нетурбулентной среде. Также были проведены усреднения полученных результатов по 20 экспериментам для каждого сочетания параметров пучка

и параметров среды. Было показано, что топологический заряд незначительно меняется при распространении в турбулентных средах с низким параметром интенсивности σ равным $\pi/2$ и π . Вне зависимости от радиуса корреляции ρ_0 , среднее отклонение вычисления топологического заряда пучка ξ_{aver} , как правило, не превышает 0,03%. При высокой интенсивности $\sigma = 2\pi$ среднему отклонению топологического заряда ξ_{aver} характерны значения в несколько процентов, но оно не превышает 5%.

В целом, было продемонстрировано, что пучки Лагерра-Гаусса в квадрате ведут себя аналогично обычным модам Лагерра-Гаусса и они представляются достаточно устойчивыми к воздействию турбулентности, что делает их привлекательными для применения в области оптических коммуникаций.

1. High-Power Laser Radiation in Atmospheric Aerosols, in Nonlinear Optics of Aerodispersed / A. Zuev [et al.] // Media Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Springer Science & Business Media. 1985. Vol. 4. P. 292.

2. Study of Propagation of Vortex Beams in Aerosol Optical Medium / A.P. Porfirev [et al.] // Applied Optics. 2017. Vol. 56, no. 11. P. E8–E15.

3. A Fourier-Invariant Squared Laguerre-Gaussian Vortex Beam / E. Kozlova [et al.] // Computer Optics. 2023. Vol. 47, no. 3. P. 367–373.

4. Berry M.V. Optical Vortices Evolving from Helicoidal Integer and Fractional Phase Steps // Journal of Optics A Pure and Applied Optics. 2004. Vol. 6, no. 2. P. 259–268.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TURBULENT MEDIA ON THE PROPAGATION OF SQUARED LAGUERRE-GAUSSIAN BEAMS

Savelyeva A.A.^{1,2}, Kozlova E.S.^{1,2}, Kotlyar V.V.^{1,2}

(¹Image Processing Systems Institute, Scientific Research Center «Kurchatov Institute», ²Samara National Research University)

The paper considers the squared Laguerre-Gauss beams. Using the Fresnel integral, numerical modeling of the propagation of such beams in turbulent media is performed. The topological charges of the resulting fields are calculated.

МЕТОДЫ ПОИСКА ОСОБЕННОСТЕЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

Куляс О.Л., Лошкарев А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Для формирования панорамных изображений используются специальные методы поиска особенностей, которые позволяют точно сопоставлять и объединять отдельные кадры в единое целое. Существует несколько подходящих алгоритмов для этой задачи – это MSER, Harris Corner Detector, SURF и SIFT [1].

Обнаружить особенности на соседних кадрах задача сама по себе тривиальная, перечисленные алгоритмы находят множество кандидатов. Однако, при сопоставлении найденных особенностей на соседних кадрах внутренней поверхности труб обнаруживается множество ложных соответствий, которые могут быть вызваны следующими причинами:

- монотонность текстур шиваемых изображений. Перепады яркости на границах особенностей соседних кадров, как правило, незначительны;
- неравномерность освещения внутренней поверхности трубы приводит к сильному изменению локальных значений яркости и контраста изображений по полю кругового изображения;
- потери и искажение информации о яркости пикселей при реконструкции изображения из кругового панорамного в прямоугольное. Такая реконструкция реализуется с помощью цилиндрической эквидистантной проекции, как показано на рис. 1. При этом строки, расположенные ближе к центру кругового изображения, содержат меньшее количество точек, которое будет перенесено в декартову систему координат, в связи с чем требуется интерполяция строк до нужных размеров [2];

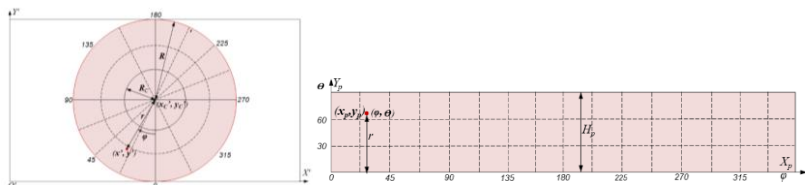


Рис. 1. Системы координат изображения круговой и прямоугольной панорам

Экспериментальные исследования показали, что для поиска соответствий более предпочтительными являются алгоритмы, которые обнаруживают на точечные особенности, а особые области. С этой задачей хорошо справляется детектор MSER, который может детектировать на изображении регионы с экстремальными значениями яркости внутри и на границах [3]. MSER решает проблему инвариантности к масштабу и ориентации, что критически важно для точного сопоставления кадров. Он работает путем сканирования изображения на разных масштабах и нахождения регионов с экстремальными свойствами яркости. Затем эти регионы проверяются на устойчивость к небольшим изменениям яркости и контраста, чтобы исключить ложные соответствия.

В докладе приводится методика экспериментальных исследований, и сравниваются полученные результаты.

1. Куляс О.Л., Лошкарев А.С. Вопросы формирования панорамного изображения внутренней поверхности труб // Оптические технологии в телекоммуникациях: материалы XXI Международной научно-технической конференции. Казань: КНИТУ-КАИ, 2023. С. 204–205.

2. Reconstruction of Images in Video Analytics Systems with Ultra-Wide Angle Optics / O.L. Kulyas [et al.] // XVII International Scientific and Technical Conference «Optical Technologies for Telecommunications». Proceedings of SPIE. 2020. Vol. 11516. P. 115161C. DOI: 10.1117/12.2566125

3. Лошкарев А.С. Формирование панорамного изображения внутренней поверхности трубы // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2024. Т. 27, № 2. С. 45–55.

FEATURE SEARCH METHODS FOR FORMING PANORAMIC IMAGES OF THE INTERNAL SURFACE OF PIPES

Kulyas O.L., Loshkarev A.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The issues related to the search for features in images of adjacent frames for forming a panorama of the inner surface of pipes are considered. The advantages of the MSER algorithm are shown.

**ПРОБЛЕМЫ СОВМЕЩЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ В
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

Диязитдинов Р.Р., Васин Н.Н.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Высокоскоростные оптические датчики широко применяются в различных промышленных сферах для автоматизации технологических процессов, мониторинга транспортной инфраструктуры, контроля качества изготовления деталей, оценки состояния объектов контроля и т.д.

Оптические датчики позволяют оценивать смещения, угловые перемещения, а также измерять форму объектов. Широкое применение датчиков обусловлено возможностью бесконтактной работы и высокой скоростью съемки (1000 кадров/с и выше), что позволяет повысить ускорить технологические процессы. Объем информации, передаваемый от этих датчиков, будет очень большим, поэтому запись данных, обработка и передача по сети и между носителями информации становятся сложными техническими и организационными задачами.

В системах технического зрения, построенных на базе высокоскоростных оптических датчиках, как правило, обработка происходит в режиме реального времени, так как в этом режиме обеспечивается оперативное принятие решений (в особенности, если речь идет о безопасности), а также сокращение организационных мероприятий, связанных с передачей и последующей обработкой.

Актуальной задачей становится разработка методов обработки, обладающих производительностью, которая соответствует режиму реального времени.

Одной из распространенных операций при обработке многомерных сигналов оптических датчиков является совмещение. Оно представляет собой сопоставление двух сигналов, один из которых является эталонным, а второй анализируемым. В ходе совмещения оцениваются параметры геометрической трансформации.

В работе рассматривается оптические профильные датчики и геометрическая трансформация, включающая смещения вдоль координат осей и поворот.

Для обеспечения высокой скорости обработки была разработана математическая модель, которая связывает сигналы датчиков, один из которых задается совокупностью уравнений в аналитическом виде, а

второй – совокупностью из подмножеств точек, соответствующих этим уравнениям.

Математическая модель включает все параметры совмещения. На основе этой модели был разработан итерационный метод оценки параметров, который обеспечивает обработку в режиме реального времени.

**PROBLEMS OF IMAGES SUPERPOSITION MULTYDIMENSIONAL
TELEVISION SIGNAL IN MEASUREMENT MACHINE VISION
SYSTEMS**

Diyazitdinov R.R., Vasin N.N.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the actual problem of superposition multidimensional signals of optical sensors. A mathematical model was proposed for the solution. The iterative method was developed to evaluate the superposition parameters, which provides real-time processing.

ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОЕКЦИЙ

Диязитдинов Р.Р.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Задача совмещения многомерных телевизионных сигналов является актуальной на протяжении длительного времени. На основании совмещения решаются различного рода измерения параметров объекта: линейные, угловые перемещения, геометрические размеры объектов, скорость движения, отклонения от эталонной формы и т.д. Основная трудность задачи совмещения заключается в том, что при ее решении ведется поиск компромисса между точностью и скоростью обработки. Как правило, чем выше точность, тем меньше скорость обработки и наоборот.

По этой причине исследователи разрабатывают различные методы, позволяющие уменьшить время обработки.

Определенные успехи в совмещении многомерных телевизионных сигналов были достигнуты в направлении особых точек и дескрипторов (например, SIFT, SURF).

Основное время в этих алгоритмах тратится на расчет характеристик дескрипторов особых точек, но после этого процесс совмещения сводится к сопоставлению двух наборов точек и расчету параметров геометрической трансформации. Современные процессоры обладают достаточной вычислительной мощностью, чтобы реализовать обработку в режиме реального времени с частотой 30 кадров/сек для многомерных телевизионных сигналов с разрешением 800x600 пикселей.

Однако такие показатели производительности являются предельными, а в большинстве случаев частота обработки ниже.

Альтернативным решением по отношению к дескрипторам выступают методы, основанные на оценке масштабных и поворотных преобразований на базе логарифмически-полярного представления (например, метод фазовой корреляции). Эти методы обеспечивают более худшие показатели по сравнению с методами дескрипторов за счет процедур преобразования в логарифмически-полярное представление.

Однако у них есть одно важное достоинство – эти методы являются более «гибкими». Можно заменить представление двумерного сигнала на одномерные проекции, что позволит существенно повысить скорость обработки. А саму процедуру расчета проекций можно оптимизировать, учитывая равномерную дискретизацию многомерных телевизионных сигналов, как это было предложено в работе [1].

1. Крашенинников В.П., Кадеев А.Д. Алгоритм оценивания сдвига и поворота изображений на основе метода неподвижной точки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 4 (4). С. 931–935.

**INCREASING THE SPEED OF SUPERPOSITION
MULTIDIMENSIONAL TELEVISION SIGNALS BY PROJECTIONS**

Diyazitdinov R.R.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The work is devoted to the study of the issue of increasing the speed of superposition multidimensional television signals by projections. The relevance of the work lies in the development of a matching method based on log-polar transformation procedures.

СИСТЕМА СИМПЛЕКСНОЙ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОПТОВОЛОКОННОМ КАНАЛЕ

Дашков М.В., Гуреев В.О., Евтушенко А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В ряде критически важных областей, таких как взрывоопасные зоны, высоковольтные объекты или специальные медицинские учреждения, требуется обеспечение односторонней связи, где стандартные электрические микрофоны не могут использоваться из-за риска искрения, электромагнитных помех или требований к безопасности. В таких условиях большой потенциал имеют системы, способные эффективно улавливать и передавать акустические сигналы, не используя электрические компоненты в зоне мониторинга. В этом контексте могут найти применение распределенные акустооптические микрофоны. Принцип их работы основан на использовании оптоволоконных линий для улавливания и передачи акустических колебаний.

Ранее рассматривалась возможность реализации схемы с одиночным диэлектрическим микрофоном на базе интерферометра Маха-Цендера [1]. В ходе разработки макета было установлено, что для масштабирования схемы можно последовательно подключать дополнительные узлы, содержащие в себе оптические интерферометры, которые улавливают внешние акустические колебания и модулируют оптический сигнал. Затем, на приемной стороне, зная конфигурацию оптической линии, можно выделить необходимую полезную информацию.

В работе представлены результаты экспериментальной апробации системы распределенной акустооптической передачи данных в оптоволоконном канале на базе интерферометрической схемы.

1. Способ передачи данных по акусто-оптоволоконному каналу связи маломодовой волоконно-оптической линии / В.А. Бурдин [и др.] // Фотон-экспресс. 2019. № 6 (158). С. 295.

SIMPLEX ACOUSTO-OPTICAL DATA TRANSMISSION SYSTEM IN FIBER-OPTIC CHANNEL

Dashkov M.V., Gureev V.O., Evtushenko A.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper presents the results of experimental validation of a distributed acousto-optical data transmission system in a fiber-optic channel based on an interferometric scheme.

**ИНТЕРАКТИВНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ФЕРУЛ ДЛЯ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ
ЗАГРЯЗНЕННОСТИ**

Диязитдинова А.А.

*(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и
информатики)*

В современных инфокоммуникационных сетях наибольшую роль при передаче данных играют волоконно-оптические линии связи. На сегменте «последней мили» (каналы связи, соединяющие конечное (клиентское) оборудование с узлом доступа провайдера (оператора связи)), используются структурированные кабельные системы также на базе оптоволоконка.

Таким образом, если проблемы эксплуатации волоконно-оптических линий связи ранее ограничивали специалистов магистральных сетей, то с широким и стремительным внедрением оптоволоконных линий на региональном уровне и уровне доступа все те же самые технические проблемы и особенности монтажа появились и у инженеров данного сегмента.

Одним из основных источников неполадок являются механические соединения оптических волокон и механические повреждения на линии связи.

Если механические повреждения могут быть отнесены к классу «случайных событий» или «прогнозируемых аварий» путем мониторинга, то механические соединения являются более распространенной операцией, и при их монтаже необходимо руководствоваться принципами «измерения параметров оптического сигнала» и «определения состояния торцевых поверхностей соединяемых оптических элементов» для обеспечения качественного проведения монтажных работ (монтажа оконечных устройств коммутации).

При проведении механических соединений неотъемлемой частью является оптический коннектор (разъем). Основными конструктивными элементами оптического разъема являются корпус, ферула и фиксатор.

Ферула представляет собой керамическую часть коннектора цилиндрической формы. Она непосредственно контактирует с оптоволоконком. И состояние ее поверхности можно контролировать оптическим способом с помощью микроскопа.

Принятие решения о состоянии торцевой поверхности (например, загрязнено, и коннектор нельзя использовать для соединения) очень часто принимается «экспертным путем». Фактически визуальный контроль и

принятие решений осуществляется специалистом, проводящим монтаж. Однако данный подход стараются обойти, используя автоматизированные (интерактивные) или автоматические способы оценки состояния поверхности с помощью методов обработки изображений и распознавания образов.

Одним из способов, который можно реализовать на практике, был предложен в работе [1]. Однако для его реализации необходимо указание 4 точек, описывающих эллиптический контур ферула и оптоволокну, что требует точности указания и занимает достаточно много времени оператора.

В данной работе предлагается использовать альтернативный способ – указание прямоугольной рамки, ограничивающей контур ферула. А определение эллиптического контура будет проводиться автоматическим образом на основании детектора границ Canny и алгоритма RANSAC.

Данный подход позволит уменьшить время и трудоемкость работы специалиста и будет дополнять основной способ обработки, предложенный авторами [1].

1. Бурдин А.В., Пашин С.С. Оценка коэффициента отражения на разъемном соединении одномодовых оптических волокон по результатам анализа изображений торцевых поверхностей феррул коннекторов // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6, № 4. С. 16–27.

INTERACTIVE PROCESSING OF FERULE IMAGES TO AUTOMATICALLY ESTIMATING POLLUTION DEGREE

Diyazitdinova A.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article is devoted to the development of an algorithm for interactive image processing of ferules for automatic determination of the pollution degree. The algorithm will reduce the time and complexity of the work of a specialist engaged in the installation of optical fibers.

ПРОБЛЕМАТИКА ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

*Куляс О.Л., Лошкарев А.С., Никитин К.А., Назаренко П.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)*

Контроль состояния труб является важной составляющей при их производстве и эксплуатации во многих сферах деятельности человека. Он осуществляется с применением различных методов неразрушающего контроля: метод рассеяния магнитного потока, ультразвуковой метод, вихретоковый метод, магнитопорошковый метод, радиографический метод, метод визуального контроля и другие. Наибольший интерес для авторов данной работы представляет метод визуального контроля, который на современном этапе развития техники и промышленности хорошо поддается автоматизации.

При этом, если внешний визуальный осмотр труб не представляет особых технических сложностей, то при внутреннем осмотре возникает ряд проблем:

- ограниченное пространство для размещения оптико-электронных систем;
- неравномерный и недостаточный уровень освещения.
- Существующие технические решения по осмотру внутренней поверхности труб по конструкции и технологии формирования изображения можно разделить на несколько групп:
 - снаряд с проекционной подсветкой узкой области поверхности и видеокамерой, закрепленной на штанге или тросе;
 - роботизированная подвижная платформа с поворотной видеокамерой и подсветкой, которая может перемещаться внутри трубы [1];
 - видеокамера в цилиндрическом корпусе со сверхширокоугольным объективом и светодиодной подсветкой, направленные параллельно оптической оси трубы [2];
 - видеокамера с катодиоптрической системой и подсветкой, закреплённые на штанге.

Указанные системы формируют панорамное изображение части поверхности трубы, которое в последующем может быть обработано на компьютере. Поэтому такого рода системы относят к панорамным оптико-электронным устройствам кругового обзора (ПОЭС). Принципиальными недостатками ПОЭС является неравномерность пространственного и градационного разрешений по всему полю обзора, а также наличие сильных геометрических искажений.

Одним из путей устранения этих недостатков является использование многоканальных (многосекторных) ПОЭС кругового обзора, в которых каждый самостоятельный канал отвечает за свой сектор обзора, а все вместе – за реализацию требуемых угловых полей обзора [3]. Полное круговое панорамное изображение формируется сшивкой изображений соседних секторов. Из-за своих габаритов использование многоканальных ПОЭС позволяет реализовать системы визуального контроля для труб большого диаметра.

1. Towards a Visual Perception System for Pipe Inspection: Monocular Visual Odometry / P. Hansen [et al.] // Carnegie Mellon University, 2010. 40 p.

2. Куляс О.Л., Лошкарёв А.С. Мониторинг продольного положения видеокамеры при телевизионном контроле внутренней поверхности труб // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2024. № 1. С. 10–19.

3. Прудников Н.В., Шлишевский В.Б. Панорамные оптико-электронные устройства кругового и секторного обзора // Вестник СГУГиТ. 2016. № 1 (33). С. 148–161.

PROBLEMS OF VISUAL INSPECTION OF PIPE INNER SURFACE

Kulyas O.L., Loshkarev A.S., Nikitin K.A., Nazarenko P.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The problems associated with the formation of a high-quality image of the inner surface of pipes for visual and automated control are discussed. The advantages of multichannel sector optical-electronic image formers are shown.

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ОТКЛИКОВ
ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА ПРИ
РЕГИСТРАЦИИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ**

Губарева О.Ю., Дашков М.В., Гуреев В.О.,

Евтушенко А.С., Макаров И.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Одной из ключевых задач обеспечения безопасности объектов является локализация местоположения злоумышленника на охраняемом объекте и идентификация легитимных пользователей. Традиционные для данной области технологии видеонаблюдения и датчиков движения имеют определённые ограничения по точности и масштабу области охвата, особенно в сложных условиях окружающей и технической среды. В связи с этим в последние годы всё большее внимание уделяется использованию оптических технологий, в частности, акустических волоконно-оптических датчиков на основе фазочувствительных рефлектометров. Подобные датчики обладают рядом преимуществ, в частности сравнительно высокой чувствительностью, возможностью непрерывного мониторинга на всем протяжении оптического кабеля и повышенной защищенностью от электромагнитных помех. Однако для эффективного применения этих систем в условиях реальной эксплуатации необходимо решить ряд задач, связанных с фильтрацией и обработкой сигналов. Главной проблемой становится ухудшение разборчивости полезного сигнала из-за шумов. Шумы зарегистрированного фазочувствительным рефлектометром сигнала имеют сложный характер, поскольку присутствует как аддитивная составляющая, так и мультипликативная составляющая, которая обусловлена особенностью детектировании изменения фазы оптического излучения, связанной с интегрированием на участке оптического волокна длиной, как правило, от 5 м и выше. Вследствие этого все посторонние случайные воздействия в пределах участка интегрирования сложным образом влияют на полезный сигнал. Вследствие этого традиционные методы фильтрации оказываются недостаточно эффективными.

Для решения данной задачи требуется применение специализированных методик обработки речевых сигналов. Одним из наиболее перспективных методов является применение адаптивной фильтрации Калмана, которая позволяет отслеживать изменения состояния системы в режиме реального времени, что может быть особенно полезно в контексте динамически меняющихся условий на объектах [1]. Для повышения разборчивости регистрируемых сигналов могут быть

использованы формантные фильтры, выделяющие ключевые частотные компоненты речи.

В работе приведены результаты сравнительного анализа методов обработки сигналов фазочувствительного рефлектометра, полученных в результате экспериментального исследования на физической модели распределенного акустического сенсора контролируемого помещения при регистрации речевых сигналов.

1. Чучупал В.Я. Цифровая фильтрация зашумленных речевых сигналов. М.: Вычислительный центр РАН, 1998. 52 с.

**ANALYSIS OF PHASE-SENSITIVE REFLECTOMETER OUTPUT
DATA PROCESSING METHODS FOR SPEECH SIGNAL
DETECTION**

*Gubareva O.Yu., Dashkov M.V., Makarov I.S.,
Gureev V.O., Evtushenko A.S.*

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The study presents a comparative analysis of acoustic signal filtering methods, specifically focusing on the Kalman filter and formant filters. Experimental testing was conducted at the PSUTI testing site. One of the main limitations of the optical system was the gauge length, which is 5 meters. Based on the test results, conclusions about the effectiveness of the methods were drawn.

СЕКЦИЯ 4

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, КОНТРОЛЬ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

**ФАКТОР СЕЗОННОСТИ В АНАЛИЗЕ ЧАСТОТЫ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ
ОБСЛУЖИВАНИИ СИСТЕМ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ**

Евстафьева В.А., Симагина С.Г.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Системы оптической связи (ОС) играют критически важную роль в современной инфраструктуре передачи данных, обеспечивая высокую скорость и надежность информационных потоков. Однако их эксплуатация сопровождается различными проблемами, связанными с техническими дефектами, требующими регулярного обслуживания и ремонта. Важным аспектом работы с оптическими сетями является сезонный характер повреждений, выявленный в результате анализа эксплуатации кабельных систем [1].

Расчеты индексов сезонности показывают четкую зависимость повреждений оптических кабелей от времени года. В зимний период происходит наибольшее количество инцидентов, связанных с нарушением целостности кабелей. Основные причины таких повреждений – замерзание, сдвиг грунта, температурные деформации материалов и влияние природных факторов, таких как снегопады и гололед. В весенний период проблемы добавляются размывами почвы и повышенной влажностью, что приводит к коррозии и механическим повреждениям кабельной продукции. На фоне этих явлений расчеты сезонных индексов также демонстрируют значительное увеличение спроса на кабельную продукцию и сопутствующее оборудование в осенне-зимний период. Это связано с необходимостью проведения профилактических работ перед началом холодов и закупкой дополнительных объемов кабелей для замены поврежденных участков. Осенний пик спроса обусловлен подготовкой инфраструктуры к зимним условиям, когда техническое обслуживание становится сложнее из-за неблагоприятных погодных факторов [2].

Дальнейшее техническое обслуживание оптических систем должно учитывать эти сезонные особенности. Необходимо заранее планировать объемы закупок и проведение работ по замене или ремонту поврежденных кабелей. Повышенный спрос на кабельную продукцию в осенне-зимний период требует от компаний гибкого подхода к управлению запасами и поставками оборудования, что помогает предотвратить аварийные ситуации и минимизировать простой сети [3].

Разработка эффективной стратегии технического обслуживания с учетом сезонных факторов способствует повышению надежности работы

оптических систем связи и уменьшению затрат на устранение последствий внештатных ситуаций.

1. The Importance of Regular Fiber Optic Network Maintenance [Электронный ресурс] / URL: <https://www.yelco.tech/blog/fiber-optic-network-maintenance> (дата обращения: 23.09.2024).

2. FiberPlus Inc. Важность правильного ухода за оптическими кабелями и их чистота в процессе эксплуатации [Электронный ресурс] / URL: <https://www.fiberplusinc.com/fiber-optic-cable-care-maintenance> (дата обращения: 23.09.2024).

3. Руководство по поддержке волоконно-оптических сетей [Электронный ресурс] / URL: <https://www.thefoa.org/maintenance> (дата обращения: 23.09.2024).

SEASONALITY FACTOR IN THE ANALYSIS OF THE FREQUENCY OF DEFECTS DURING MAINTENANCE OF OPTICAL COMMUNICATION SYSTEMS

Evstafeva V.A., Simagina S.G.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This study investigates defects in optical communication systems with a focus on seasonal fluctuations in demand for cable products. Calculations of seasonality indexes show that demand sharply increases in the fall and winter, linked to preparations for harsh weather conditions when maintenance becomes more challenging. These indexes aid in optimizing purchases and planning preventive maintenance to reduce the risk of failures and ensure the uninterrupted operation of the network during peak load periods.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СРАЩИВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО РЫНКА

*Гаврюшин С.А., Лиманский Н.С., Евтушенко А.С.,
Алехин И.Н., Андреев Р.В.*

*(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и
информатики)*

В настоящее время российские кабельные заводы производят волоконно-оптические кабели (ВОК), используя оптические волокна (ОВ) от разных производителей. При этом в условиях современного рынка существенно увеличилась доля новых производителей, преимущественно из Азии. При этом ОВ, которые соответствуют требованиям одной рекомендации, но произведенные на разных заводах, могут значительно различаться по геометрическим, физическим и оптическим параметрам. В результате при сращивании ОВ разных производителей могут наблюдаться повышенные значения вносимых потерь, что создаёт трудности для строительного-монтажных организаций. Основные причины повышенного затухания – существенные различия в диаметрах модовых полей и химическом составе материала сращиваемых ОВ. В результате параметры сварки для таких ОВ будут отличаться, такие как время плавления, время сварки, мощность дуги и т. д. [1].

Для анализа данной проблемы были проведены экспериментальные исследования с образцами ОВ, отобранными в процессе строительства «проблемной» ВОЛС. Измерения производились в два этапа: между двух нормализующих катушек ОВ (длиной 1,139 и 1,338 км) подключались два образца исследуемых ОВ и сваривались между собой для определения опорного значения; затем между опорными образцами ОВ поочередно вваривались образцы исследуемых ОВ. Используемая схема измерений была обусловлена малой протяженностью образцов, составляющей 19 метров, что не позволяло производить отдельные измерения каждого стыка. Сварные соединения ОВ производились с использованием стандартных программ для сварки одномодовых волокон на четырех сварочных аппаратах: Fujikura FSM-86S+, Fujikura FSM-60S, Ericsson FSU-975, INNO View-3. На каждом сварочном аппарате было выполнено по 10 сварных соединений отрезков ОВ. Для оценки затухания сварного соединения ОВ проводились двухсторонние измерения на трех длинах волн: 1310, 1550 и 1650 нм.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований, которые показали, что требуется адаптация стандартных программ сварки ОВ и предложены рекомендации для решения данной проблемы.

1. Проблемы сварки оптических волокон в сложившейся рыночной ситуации / С.А. Гаврюшин [и др.] // Оптические технологии в телекоммуникациях: материалы XXI Международной научно-технической конференции. Казань: КНИТУ-КАИ, 2023. С. 225–226.

EXPERIMENTAL STUDIES OF OPTICAL FIBRE SPLICING IN MODERN MARKET CONDITIONS

*Gavryushin S.A., Limansky N.S., Evtushenko A.S., Alekhin I.N., Andreev R.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)*

In the current market situation and in conditions of import substitution, Russian cable factories use optical fibers from various manufacturers in the production of fiber-optic cables. In this regard, installation organizations have difficulties splicing optical fibers from different manufacturers, which manifest themselves in increased values of insertion losses in optical fiber splices. The paper presents the results of experimental studies that showed that adaptation of standard optical fiber splicing programs is required and proposed recommendations for solving this problem.

УДК 621.315

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОКЛАДКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ МИКРОКАБЕЛЕЙ В МИКРОТРУБКИ

Попов Б.В., Попов В.Б.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Оптические кабели (ОК), предназначенные для задувки в микротрубки, критичны к превышению растягивающих нагрузок. Очевидно, что в процессе задувки микрокабеля нагрузки, воздействующие на него, не должны превышать допустимое растягивающее усилие, указанное в технических характеристиках ОК. При этом воздействующая на ОК при задувке сила зависит от геометрических размеров как кабеля, так и микротрубки, и пропорциональна перепаду давления воздушного потока, которое увеличивается с увеличением длины ОК, задуваемого в микротрубку.

В работе представлены результаты расчета нагрузок, воздействующих на ОК при его задувке на длины 1000 и 1500 м. Показано, что при задувке кабеля на 1000 м растягивающее усилие не превышает допустимое, составляющее 1,5 кН. Также показано, что увеличение длины задувки до 1500 м является, для рассматриваемого ОК недопустимым, особенно если задувка проводится на сложных участках трассы волоконно-оптической линии связи.

ANALYSIS OF THE PROCESS OF LAYING FIBER-OPTIC INTO MICROTUBE

Popov B.V., Popov V.B.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the issues of calculating the loads acting on an optical micro cable when blowing into a micro duct and provides an example of calculation for the cable brand considered in the work.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА МЕТОДА СНЯТИЯ ЗАЩИТНОГО УПРОЧНЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ

Дашков М.В., Никулина Т.Г., Евтушенко А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

На сегодняшний день наблюдается широкое применение волоконно-оптических датчиков в разных областях техники: в телекоммуникациях, для мониторинга состояния зданий и сооружений, для проведения исследований в области медицины и т.д. Для некоторых реализаций датчиков требуется удаление защитного упрочняющего покрытия (ЗУП) с оптического волокна (ОВ). Существуют разные методы удаления ЗУП ОВ [1–3]. Вместе с тем представляет интерес исследование влияния на прочность ОВ применяемого способа снятия ЗУП. В данной работе были выполнены исследования механической прочности на разрыв ОВ для трех способов снятия полимерного ЗУП: механического удаления ЗУП при помощи стриппера, химического удаления ЗУП метиленом хлористым, удаления ЗУП лазером на установке с числовым программным управлением (ЧПУ). Для каждого метода было проведено тестирование 30 образцов одномодовых телекоммуникационных оптических волокон. Все образцы волокон были из одной заводской длины. Длина каждого образца составляла 2 м. Испытания проводились на разрывной машине «Table Top Tensile Tester T4» FiberSigma. Измерительная база составляла 0,5 м. Исследования прочности ОВ во всех испытаниях выполнялись при скорости растяжения 2,5 %/мин. При удалении ЗУП лазером на установке с ЧПУ покрытие со всех образцов снималось на заданную длину, составлявшую 5 мм. Для двух других способов длина участка без покрытия могла варьироваться в пределах 4,6–5,6 мм. Результаты измерений прочности ОВ представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерений напряжений разрушений ОВ

Напряжение разрушения σ , ГПа	ОВ с ЗУП	Химический способ	Лазер с ЧПУ	Механический способ
	5,14±0,08	2,38±0,99	1,74±0,90	1,79±0,8

Анализ полученных результатов показал, что прочность ОВ меньше снижается при химическом способе удаления покрытия метиленом хлористым (Табл. 1). Удаление покрытия лазером на установке с ЧПУ и удаление покрытия механическим способом приводят к сопоставимым результатам по снижению прочности ОВ.

1. Lee J.-R., Dhital D., Yoon D.-J. Investigation of Cladding and Coating Stripping Methods for Specialty Optical Fibers // Optics and Lasers in Engineering. 2011. No 49. P. 324–330.

2. Weglarski P., Jung J. Thermal Removing the Primary Coating Layer from the Fiber Optic Surface // Electrotechnical Review. 2022. Vol. 98, no. 5. P. 33–37.

3. Vasile G.C., Vasile I.M., Sava V. A Method to Remove Optical Fibers Coating // UPB Scientific Bulletin, Series A: Applied Mathematics and Physics. 2013. Vol. 75, no. 2. P. 155–160.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE PROTECTIVE COATING REMOVAL METHOD ON THE STRENGTH OF OPTICAL FIBER

Dashkov M.V., Nikulina T.G., Yevtushenko A.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents the results of studies of the strength of optical fibers without a protective coating, removed in various ways. It has been shown that the least reduction in strength is observed in fibers whose coating was removed by chemical means.

СЕКЦИЯ 5

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

**ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ И СПОРТИВНОЙ ИНЖЕНЕРИИ
КАК ФУНДАМЕНТ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ**

Алибаев Т.Л.¹, Васюк В.Е.², Кузнецов А.А.¹,

Нурев И.И.¹, Морозов О.Г.¹, Юсупов Р.А.¹

(¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, ²Белорусский государственный университет физической культуры)

Стратегия развития физической культуры и спорта в Российской Федерации на период до 2030 года к числу основных вызовов на долгосрочный период относит глобальную конкуренцию в спорте, вызывающую в ведущих странах мира интенсификацию разработок высокотехнологических подходов к развитию спорта высших достижений.

Таким образом, преподавание инженерных идей посредством спорта, по-видимому, является одним из способов удовлетворения потребности университета в выдвигании инженерии на первый план таким образом, чтобы это было интересно студентам. Это позволяет связать «точную науку» с дизайном и технологией, используя материалы, которые студенты найдут доступными. Почему нужно изучать шестерни токарного станка, а не велосипед? Почему полгода обсуждения кривых отжига различных сортов стали и ни слова о свойствах углеродных волокон, поскольку они используются в сноубордах, или создания специальных клеев для формирования фторопластового покрытия на лыжах?

Согласно международному академическому журналу *Sports Engineering*, предмет спортивной инженерии находится между классической инженерией и спортивной наукой и представляет собой применение инженерии и науки в спорте. На уровне зарубежного высшего образования дисциплина, как правило, представлена в модульной форме на кафедрах физики, машиностроения и производства, математики и спортивной науки.

Новые планы касаются электронных, фотонных и цифровых кафедр для создания ряда курсов бакалавриата, охватывающих эту область: по спортивной инженерии; по спортивным технологиям; по проектированию спортивного оборудования; по медицинским технологиям в спорте. Признавая привлекательность спорта для студентов, спортивная инженерия в образовании должна стать новым драйвером в высшем образовании.

Выпускаемые специалисты с квалификацией магистра сегодня востребованы в научно-исследовательских изысканиях, связанных с

изучением резервных возможностей человека в различных сферах профессиональной деятельности, при занятиях физической культурой и спортом, а также в организациях, разрабатывающих, выпускающих и обслуживающих информационно-измерительную технику, системы военно-технического назначения, спортивные тренажеры, инвентарь, приборы и оборудование для диагностики подготовленности спортсменов и работников по прикладным профессиям.

В реализации магистерской программы будут задействованы Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», научно-исследовательский институт медико-биологической и спортивной инженерии, научно-исследовательский институт прикладной электродинамики, фотоники и живых систем», кафедры спортивной инженерии, радиофотоники и микроволновых технологий и ФКС КНИТУ-КАИ, а также коллеги из вузов Республики Беларусь.

**OPTICAL AND PHOTONIC TECHNOLOGIES
OF REHABILITATION AND SPORTS ENGINEERING
AS A FOUNDATION FOR A MASTER'S DEGREE PROGRAM**

Alibaev T.L.¹, Vasyuk V.E.², Kuznetsov A.A.¹,

Nureyev I.I.¹, Morozov O.G.¹, Yusupov R.A.¹

*(¹Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI,*

²Belarusian State University of Physical Education)

An educational platform is being created to conduct master's degree training of specialists in various fields of science with an emphasis on the application of their results and competencies in high-performance sports, the prevention of diseases of athletes and their rehabilitation.

**РАЗВИТИЕ НАДПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ НАВЫКОВ РАБОТЫ С
СОЦИАЛЬНЫМИ ЗАКАЗАМИ В ПРОЦЕССЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В
ОБЛАСТИ ОПТОИНФОРМАТИКИ И ФОТониКИ**

Матвеева Т.Ю., Осадчий И.С., Хуснутдинова М.Н.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ)*

В современных условиях возрастает потребность в развитии у будущих специалистов всех профилей деятельности гражданственности, ответственности, готовности приносить пользу обществу в единстве с формированием профессиональных компетенций в процессе обучения. Совмещение академических дисциплин с общественно-полезной работой способствует как развитию надпрофессиональных навыков, так формированию системы ценностей, вовлекая будущих специалистов в решение конкретных социальных задач и проектов.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ) включился в федеральную программу «Обучение служением», направленную на реализацию потенциала и воспитание социальной ответственности личности. Каждый вуз самостоятельно определяет, каким образом будет реализована программа. КНИТУ-КАИ основной упор на начальном этапе делает на студентов-первокурсников всех направлений подготовки, включая и направление «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». В образовательном процессе модуль «Обучение служением» встраивается в учебную дисциплину «Личностное развитие». Развитие надпрофессиональных навыков, таких как адаптивность, саморефлексия, умение принимать решения, мультикультурность, творческие навыки, обучаемость реализуется через перечень дисциплин образовательных программ, включая и курс «Личностное развитие».

Включение модуля «Обучение служением» в дисциплину «Личностное развитие» требует поиска социальных заказчиков, для которых обучающиеся будут выполнять социальные заказы, формируя профессиональные компетенции. Преподавателям данного курса необходимо координировать работу студентов в выборе социальных задач, подборе социальных предпринимателей, социально ориентированных некоммерческих организаций (НКО), в разработке паспорта проекта и выполнении заказов, согласованных с направлением подготовки. Студенты знакомятся с социально ориентированными НКО, начнут выполнять отдельные социальные заказы в рамках практик и

преддипломного проектирования в НКО и других, социально ориентированных организациях и хозяйствующих субъектах.

Необходимость совместной согласованной работы руководства КНИТУ-КАИ, выпускающих кафедр по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и кафедр, реализующих дисциплины «Личностное развитие», «Основы проектной деятельности» в старте программы «Обучение служением» определяется следующими условиями: во-первых, в будущем студенты будут активно участвовать в социальной жизни общества, формируя свой образ, как образ личности с активной гражданской позицией; во-вторых, результаты, полученные при выполнении социальных заказов, помогут сформировать опыт работы с проектами, который успешно смогут применить уже для учебных проектов в образовательном процессе подготовки по выбранному профилю; в-третьих, совместная и согласованная работа в вузе влияет и на его имидж, а социальные организации приобретают возможность привлекать новых специалистов, которые уже имеют опыт решения актуальных проблем и задач нашего общества.

Реализуя программу «Обучение служением», необходимо стремиться к достижению эффективности проектно-ориентированной работы. Преподаватели должны знать цели и уметь формулировать задачи, поддерживать студентов, обеспечивать коллективную работу и контролировать ход реализации проекта, позволять им видеть их роль в социальных изменениях, осознавать значение и влияние своей проектной работы на общество.

**DEVELOPMENT OF SUPRA-PROFESSIONAL SKILLS OF
WORKING WITH SOCIAL ORDERS IN THE PROCESS OF
PROFESSIONAL TRAINING OF SPECIALISTS IN THE FIELD OF
OPTOINFORMATICS AND PHOTONICS**

Matveeva T.Yu., Osadchy I.S., Khusnutdinova M.N.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)*

Having considered the aspects, the introduction of the «Learning by Service» program into the educational process of training specialists in the field of «Infocommunication technologies and communication systems» allows students to see their role in social change, to realize the importance and impact of their project work on society.

**ЦИФРОВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ В ПОДГОТОВКЕ
СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКИХ
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ
СВЯЗИ**

Серезжина А.Е., Осадчий И.С.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева– КАИ)*

Цифровые технологии стали неотъемлемой частью современного мира (Big Data, Internet of Things, искусственный интеллект, блокчейн, роботизация, технология цифровых двойников). Чтобы быть конкурентноспособными, компании должны уделять внимание не только вопросам, связанным с производственным процессом, но и человеческим ресурсам, обладающим необходимыми компетенциями. Встает вопрос необходимости адаптироваться к новым цифровым стратегиям и формировать соответствующие времени компетенции.

В новой цифровой стратегии цифровые технологии являются движущей силой развития общества.

Анализ исследований по изучению цифровых компетенций специалистов технического профиля показал, что ни в одной из работ нет полного и единого описания необходимых компетенций. Это обуславливает актуальность разработки и описания модели цифровых навыков, которая могла бы быть закреплена в учебных планах вузов.

Цифровые компетенции упоминают в профессиональных стандартах, в которых выделяют (базовые, универсальные, общетехнические, специальные).

В исследовании определялась модель цифровых компетенций специалиста в области оптических инфокоммуникационных технологий и систем связи. Для реализации данной цели студентам и преподавателям был предложен ряд характеристик цифровой грамотности современных специалистов технического направления.

Необходимо было отобрать те характеристики, которые, по мнению, респондентов, описывают модель цифровых компетенций специалиста – оптоинформатика (предлагалось добавить и свой вариант компетенций).

Частотный анализ результатов отбора выявил, что представления о моделях цифровых компетенций различны: педагоги в большей степени считают, что специалист должен уметь создавать, редактировать цифровой контент и управлять им, настраивать программное и аппаратное обеспечение (74 %); иметь навыки поиска, оценки, анализа информации для дальнейшего решения профессиональных задач с использованием цифровых средств (66 %); демонстрировать коммуникативную

составляющую цифровой компетенции (66 %); студенты считают, что основным цифровым навыком является решение проблем в цифровой среде (58 %) (навык работы с технологиями искусственного интеллекта в качестве одной из основных цифровых компетенций отметили обучающиеся, поступившие в магистратуру (62 %).

Студенты оценивали по 5-балльной шкале степень сформированности цифровых компетенций, например:

– умение использовать в процессе взаимодействия с другими людьми различные цифровые средства для достижения поставленных целей (4,8 балла);

– студенты высоко оценили свою информационную компетентность (4,7 балла);

– самыми несформированными навыками у студентов отмечено умение предлагать нестандартные решения проблем, искать альтернативные варианты действий (2,9 балла).

При разработке и реализации учебных курсов следует уделять внимание развитию цифровых компетенций как в общем плане, так и с учетом специфики будущей профессии. Необходимо обращать внимание на тот факт, что инфокоммуникационная сфера развивается достаточно динамично, что предъявляет определенные требования к цифровым компетенциям преподавателей, осуществляющих подготовку специалистов в этой области.

DIGITAL COMPETENCIES OF SPECIALISTS IN THE FIELD OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES, RADIO ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS

Serezhkina A.E., Osadchy IS.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)*

The rapid growth of digital technologies places high demands on the digital competencies of employees. The analysis of digital competencies of specialists in technical professions is carried out. The necessity of forming digital competencies of students in the field of optical information and communication technologies, radio electronics and communications in the educational process is shown.

**ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ
ВЫПУСКНИКОВ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ
НАПРАВЛЕННОСТИ**

Доброжанская В.А., Салмин А.А., Петуганов Т.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Профессиональные образовательные организации в настоящее время становятся активными участниками динамично меняющегося, технологичного рынка труда. В этой связи задача подготовки кадров, способных быстро адаптироваться и успешно строить карьеру в эпоху цифровых технологий становится все более актуальной. Особенно остро данная задача стоит перед техническими вузами, обеспечивающими подготовку в сфере инфокоммуникационных технологий, являющейся на текущий момент времени одной из наиболее прогрессивной и востребованной. Важную роль в этом процессе играет цифровая экосистема образовательной организации, включающая в себя несколько интегрированных компонентов, обеспечивающих качественный образовательный и профессиональный опыт.

Понятие «цифровая экосистема организации» включает в себя все цифровые инструменты и системы, используемые для управления образовательными и профессиональными процессами [1]. В образовательной организации цифровая экосистема должна обеспечивать:

- интеграцию различных информационных систем и платформ для единого управления данными;
- использовать аналитику больших данных для улучшения образовательных и профессиональных процессов;
- создание безопасной и надежной цифровой среды для всех участников образовательного процесса.

Одной из характеристик цифровой экосистемы образовательной организации является ее гибкость и адаптируемость к меняющимся потребностям участников образовательного процесса. Например, системы дистанционного обучения позволяют студентам получать образование в любое время и в любом месте, а системы управления образовательным процессом обеспечивают эффективное взаимодействие преподавателей, студентов и администрации.

Несмотря на то, что цифровая экосистема образовательной организации имеет множество преимуществ, ее формирование и функционирование связаны с рядом проблем и задач. Одной из основных

проблем является отсутствие цифровой грамотности участников образовательного процесса. Многим преподавателям и учащимся не хватает необходимых навыков работы с цифровыми инструментами, что препятствует эффективному использованию цифровой экосистемы. Другая проблема – недостаточное финансирование цифровой экосистемы образовательной организации. Многие образовательные организации не имеют достаточных средств для приобретения необходимых цифровых инструментов и обучения персонала. Кроме того, формирование и функционирование цифровой экосистемы образовательной организации связано с рядом этических и правовых проблем, таких как защита персональных данных [2], авторское право и т.д.

Несмотря на существующие проблемы и вызовы, цифровая экосистема образовательной организации имеет большие перспективы развития, поскольку обеспечивает реализацию основных бизнес-процессов организации в цифровом виде. Развертывание и использование цифровой экосистемы для подготовки специалистов инфокоммуникационной направленности позволит перейти на новый уровень взаимоотношений участников образовательного процесса, ориентированный на человекоцентричную систему обучения.

1. Каленов О.Е. Цифровые экосистемы организации // Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2022. Т. 19, № 1 (121). С. 139–147.

2. Дискуссионная площадка «Реализация практических навыков по информационной безопасности» [Электронный ресурс] / URL: <https://www.psuti.ru/ru/news/diskussionnaya-ploshchadka> (дата обращения: 17.08.2024).

TASKS OF DEVELOPMENT DIGITAL ECOSYSTEM OF EDUCATIONAL ORGANIZATION IN TRAINING OF GRADUATES INFOCOMMUNICATION ORIENTATION

Dobrozhanskaya V.A., Salmin A.A., Petuganov T.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

A description of the digital ecosystem of the educational organization is presented. Problems of its implementation are reflected. It was concluded about the importance of deploying a digital ecosystem for the training of infocommunication specialists.

**ИНТЕРАКТИВНЫЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ
В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ***Симагина С.Г., Матвеева Е.А., Черных О.Н.**(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)*

Подготовка специалистов в области оптической связи многогранна и включает в себя как теоретическую, так и практическую подготовку. Одним из важных направлений является обнаружение и устранение дефектов на волоконно-оптических линиях.

Процесс обучения, как правило, включает в себя знакомство с различными программными продуктами. Так, например, для выполнения сварочных работ широко используются современные сварочные аппараты Fujikura FSM-86S+ (предшественник Fujikura FSM-60S). Fujikura 86S+ – это самый новый и совершенный сварочный аппарат от компании Fujikura, который вобрал в себя все уникальные разработки и получил новые возможности для максимально эффективной, надежной и удобной работы оператора. Работа Fujikura 86S+ поддерживается специальным программным обеспечением FSM Data Connection (Рис. 1).

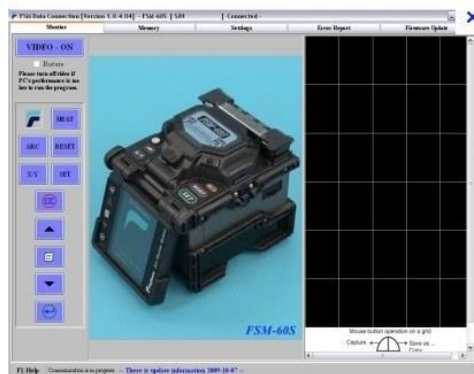


Рис. 1. Интерфейс программного обеспечения FSM Data Connection

Работа с данным программным обеспечением состоит из значительного количества шагов. Например: выбор режима работы аппарата; настройка сварки оптоволокна; подбор программы по термо-усадке КДЗСС (Комплект деталей защиты сварного стыка); установка параметров программ сварки и т.д. Подобная работа требует специальных технических знаний и навыков, и умений работы с программным обеспечением. Чаще

всего обучение таким навыкам требует специальной лаборатории и технического обеспечения, что не всегда возможно организовать в условиях не специализированных учебных центров.

Для эффективного обучения работе с аппаратом Fujikura 86S+ предлагается тренажер, позволяющий в интерактивном режиме [1] освоить необходимый для работы материал. В обучающий контент включены интерактивные графические методические материалы, функции контроля правильности выполнения задания и подсказки, позволяющие пройти по всем шагам. Определены весовые коэффициенты для каждого шага и используемых подсказок. По окончании обучающего цикла определяется, достаточно ли знаний, для работы с использованием аппарата, или необходимо еще дополнительно изучать материал и еще раз пройти тестирование на тренажере. Предлагаемый тренажер позволяет проводить обучение автономно, том числе и в онлайн режиме [2] на основе симуляции работы в программе, сокращает время начального обучения при обеспечении контроля качества освоения программного продукта.

1. Симагина С.Г., Матвеева Е.А., Черных О.Н. Интерактивное обучение – перспектива современного образования: материалы XXIX Российской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов университета с приглашением ведущих ученых и специалистов родственных вузов и организаций. Самара: ПГУТИ, 2022. С. 143–144.

2. Как будет развиваться EdTech. Обзор: ИТ в образовании 2021 [Электронный ресурс] / URL: https://www.cnews.ru/reviews/it_v_obrazovanii_2021/articles/kak_budet_razvivatsya_edtech (дата обращения: 19.11.2022).

INTERACTIVE WORKSHOP FOR SPECIALISTS IN THE FIELD OF OPTICAL COMMUNICATIONS

Simagina S.G., Matveeva E.A., Chernykh O.N.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article discusses current issues related to computer modeling of the educational process in the context of the development of information technologies for optical communications specialists.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Иванов В.И.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Учебный процесс – это путь, способ продвижения к истине. Единой методики организации и проведения лабораторных работ в высших учебных заведениях (ВУЗ) не существует. ВУЗ рекомендует свои варианты их проведения, которые существенно различаются.

В настоящих условиях с учетом остаточных знаний у студентов, неудовлетворительной посещаемости занятий, не оптимальным расписании занятий (две двоенные пары и через неделю) заставляют отойти от традиционной формы проведения лабораторных занятий. Необходимо учитывать некоторые проблемы, которые возникли с переходом на операционную систему Linux и тот факт, что занятия проводятся то очно, то дистанционно.

По курсу «Транспортные проводные системы связи» лабораторные работы проводились частично в лаборатории (повторяли цель работы, вспомнили остовы теоретической части, изучали макеты и методики исследований, затем приступали к выполнению самой работы) и заканчивали выполнение работы дома. К следующему занятию студенты должны подготовить отчет по проделанной работе. Отчеты студенты предоставляли, считая, что работу они выполнили.

В большинстве методических разработках к лабораторным работам, в соответствии РД ПГУТИ методическая разработка должна содержать не менее 27 страниц, помещены много информации, представлены исчерпывающие указания по их выполнению, подробную последовательность операций и др. Это не способствуют повышению активизации работы студентов, снижают учебную значимость лабораторных работ.

FEATURES OF CONDUCTING LABORATORY CLASSES IN MODERN CONDITIONS

Ivanov V.I.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The features of conducting laboratory classes in modern conditions are considered, taking into account the residual knowledge of students, unsatisfactory attendance of classes, and not optimal class schedule.

УДК 378.016

О МЕТОДЕ ВНЕДРЕНИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ЭЛЕМЕНТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ СТУДЕНТАМ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ»

*Алашеева Е.А., Журавлева Е.А., Сальникова Д.А., Чуйкова Н.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)*

Не секрет, что число аудиторных часов нагрузки по предмету «Теория вероятностей и математическая статистика» существенно уменьшилось. Однако потребность в освоении студентами специальности 11.03.02 «Оптические сети и системы связи» соответствующих компетенций по предмету осталась. Курс делится на две большие части: теория вероятностей и математическая статистика. Без изучения базовых законов теории вероятностей невозможно преподавание не только собственно математической статистики, но и ряда других предметов специального цикла. Поэтому как правило львиную долю аудиторных часов занимает изучение классической теории вероятностей [1]. Целью изучения математической статистики в таком случае является рассмотрение студентами законов и формул, которые будут задействованы в освоении компетенций специальных курсов (Рис. 1).



Рис. 1. Схема преподавания предмета «Теория вероятностей и математическая статистика»

При таком подходе много информации выносится на самостоятельное изучение студентами. В этом случае для повышения мотивации целесообразно предложить отдельным учащимся доклады за дополнительные баллы [2].

Например, при изучении темы «Проверка статистических гипотез», посмотреть, как статистические критерии работают на реальной задаче, какие из них лучше применять, а какие вообще использовать не следует.

1. Хуторский А.В. Педагогическая инноватика: методология, теория, практика. М.: УНЦ ДО, 2005. 222 с.

2. Розанова С.А. Математическая культура студентов технических университетов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 176 с.

**ON THE METHOD OF INTRODUCING ELEMENTS OF
MATHEMATICAL STATISTICS INTO THE EDUCATIONAL
PROCESS FOR STUDENTS OF THE SPECIALTY «OPTICAL
NETWORKS AND COMMUNICATION SYSTEMS»**

*Alasheeva E.A., Zhuravleva E.A., Salnikova D.A., Chuikova N.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)*

This article describes a method of teaching mathematical statistics to students in a limited number of classroom hours. It is proposed to consider the main aspects of the subject in the classroom, and to distribute reports to individual students for in-depth study.

**МОДЕЛЬ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ЦИКЛА БУДУЩИМ СПЕЦИАЛИСТАМ
В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ
ИНТЕНСИВНОГО ПРОДВИЖЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Балабаева Н.П., Энбом Е.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современная техногенная среда требует новых моделей преподавания, инновационных подходов к образовательным траекториям и педагогическим техникам и технологиям. Интенсивное продвижение цифровизации в сферу высшего образования диктует динамическое внесение изменений как во весь учебный процесс в техническом университете в целом, так и в преподавание конкретных дисциплин, в частности.

Модель преподавания в условиях форсированного внедрения цифровизации высшего образования развивается, во-первых, по направлению, затрагивающему организационные формальные процессы (электронная ведомость, электронная зачетная книжка, цифровое портфолио), во-вторых, по направлению повышения информационной и цифровой культуры с опорой на соответствующий бэкграунд учащихся и, в-третьих, самое главное, по направлению, связанному с содержанием образовательного контента, передаваемого студенту в процессе получения образования. Действительно актуальными являются проблемы корректировки содержания дисциплин математического цикла, которые должны формировать знания, умения и навыки, стимулировать познавательный интерес путем внедрения цифровых образовательных техник, технологий и ресурсов. При этом преподаватели и студенты ведут конструктивный диалог, сотрудничают и взаимодействуют друг с другом, качественно дополняя имеющееся образовательное наполнение. Для достижения поставленной цели преподаватель должен не только в совершенстве владеть содержательной составляющей предмета, но и активно применять в своей деятельности цифровые технологии, чтобы сделать процесс обучения более интересным и привлекательным для современного продвинутого молодого человека.

В соответствии с вышесказанным, также непрерывно изменяется и корректируется модель преподавания дисциплин по кафедре высшей математики Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Суть модели состоит в том, что все

дисциплины математического цикла разбиты на определенные фактически не зависящие друг от друга отдельные модули. Темы модулей из всего многообразия разделов современной математики выбираются с учетом их дальнейшего применения в специальных дисциплинах технической направленности. Например, модуль «Комплексные числа» является базовым для освоения теории электрических цепей, модуль «Теория графов» активно используется при изучении информационных технологий, а модуль «Булевы функции» закладывает основу для изучения теоретических основ информатики. Каждый модуль состоит из теоретических основ, где рассматриваются определения, свойства объектов и формулы для вычисления их числовых характеристик, а затем теория сразу же подкрепляется решением практических задач разного уровня сложности с учетом индивидуальных возможностей студентов. За счет уменьшения времени на доказательство теорем и подробного вывода формул, появляется возможность особое внимание уделить рассмотрению задач, связанных непосредственно с будущей профессиональной деятельностью специалистов в области оптической связи. Такое модульное разбиение соответствует психологическим особенностям современных студентов, позволяя им в должной степени овладеть необходимыми компетенциями, повышая тем самым качество высшего образования.

A MODEL OF TEACHING DISCIPLINES OF THE MATHEMATICAL CYCLE TO FUTURE SPECIALISTS IN THE FIELD OF OPTICAL COMMUNICATIONS IN THE CONTEXT OF INTENSIVE PROMOTION OF DIGITALIZATION OF HIGHER EDUCATION

Balabaeva N.P., Enbom E.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The intensive advancement of digitalization in the field of higher education dictates dynamic changes both in the entire educational process at the technical university as a whole, and in the teaching of specific disciplines in particular. The teaching model in the context of the accelerated introduction of digitalization in higher education is developing in the direction affecting organizational formal processes, in the direction of increasing the information and digital culture based on the relevant background of students and in the direction related to the content of educational content transmitted to the student in the process of receiving education.

ОБ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ АКЦЕНТАХ В ПРЕПОДАВАНИИ СТУДЕНТАМ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ»

Алашеева Е.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Часто в нагрузке преподавателя присутствует один и тот же предмет, но для студентов разного профиля, например, «Теория вероятностей и математическая статистика» для учащихся специальности 11.03.02 «Оптические сети и системы связи» и 27.03.05 «Управление цифровыми инновациями». Фактически следует рассказывать два разных курса, с различными акцентами, потому что цели и задачи у учебных программ данных специальностей различны [1]. Однако при грамотном вариативном подходе и общем учебном плане с целевым обращением внимания на конкретную тему можно сделать интересно для всех студентов, не перегрузив их лишней информацией.

В таблице ниже (Табл. 1) представлено, как возможно по-разному рассказывать отдельные темы предмета [2].

Таблица 1. Особенности преподавания некоторых тем курса «Теория вероятностей и математическая статистика»

Тема курса «Теория вероятностей и математическая статистика»	Особенность для специальности 11.03.02	Особенность для специальности 27.03.05
Основные определения теории вероятностей	Предложить классический вывод основных понятий через теорию меры	Предложить основные понятия в качестве аксиом
Основные формулы комбинаторики	Представить все основные комбинаторные объекты с выводом, предложить теоретические задачи с доказательством	Дать определения всем основным формулам комбинаторики. Предложить основные практические задачи с использованием формул
Случайные величины.	Представить основные понятия с классическим выводом, предложить вывод для основных	Представить основные понятия и формулы без доказательства. Предложить придумать пример из жизни.

	характеристик случайной величины	Рассмотреть много частных случаев (системы массового обслуживания)
Системы случайных величин	Предложить рассмотреть многомерный случай с классическим обоснованием	Рассмотреть основные понятия для двумерного случая
Доверительные интервалы	Рассказать теорию с выводом, предложить рассмотреть реальную задачу погрешности измерений	Рассмотреть классические формулы без вывода, решить стандартные задачи

При таком подходе и студенты будут подготовлены к изучению специальных предметов, и преподавателю не придется рассказывать разные темы на разных специальностях в рамках одного предмета.

1. Хуторский А.В. Педагогическая инноватика: методология, теория, практика. М.: УНЦ ДО, 2005. 222 с.

2. Розанова С.А. Математическая культура студентов технических университетов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 176 с.

**ABOUT THE DISTINCTIVE ACCENTS IN TEACHING STUDENTS
OF THE SPECIALTY «OPTICAL NETWORKS AND
COMMUNICATION SYSTEMS»**

Alasheeva E.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This article is about the problem of teaching the same subject for different specialties. The task of generalization and separation in the teaching of some topics is analyzed.

РОЛЬ ПОДГОТОВКИ И ПРОДВИЖЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТУДЕНЧЕСКОГО ПРОЕКТА ПО ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКЕ В РАЗВИТИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Балабаева Н.П., Энбом Е.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время студенческая наука активно поддерживается и стимулируется на государственном уровне, что выражается в объявлении большого количества конкурсов научных работ и грантов на разработку проектов в разных отраслях науки, важную роль среди которых играет область оптической связи. При этом вся актуальная информация о проводимых различными организациями и фондами конкурсах оперативно доводится до сведения студентов во всевозможных мессенджерах и официальных цифровых каналах университета. Для того чтобы студент мог продуктивно и результативно участвовать в разработке научного проекта по оптической связи, он должен обладать достаточными познаниями в этой области, что может быть достигнуто только на старших курсах обучения. Работа над подобными проектами требует не только специальных знаний в исследуемой области, но и определенного опыта в подготовке, продвижении и представлении результатов своего научного труда. Студенты младших курсов, как правило, даже не представляют, как влиться в научный проект, создать команду, составить план работы над проектом и следовать этому плану, анализировать научно-техническую информацию по разнообразным источникам, проводить теоретические расчеты и эксперимент, выгодно представить результаты и получить соответствующее достойное вознаграждение за научную деятельность.

Кафедра высшей математики работает со студентами, начиная с первого семестра обучения, и уже в это время привлекает некоторых учащихся к научно-исследовательской деятельности. Причем сами студенты достаточно редко проявляют инициативу, изъявляя желание заниматься научной работой по математике, что естественно для бакалавров технических направлений подготовки, которых больше интересуют темы практической направленности. Поэтому инициатором начала научной деятельности студента зачастую является преподаватель, который, применяя индивидуальный подход, помогает учащимся раскрыть их потенциал. Основная роль в управлении учебно-исследовательской деятельностью студентов младших курсов также отводится преподавателю, который предлагает тему, утверждает сроки и план

работы, корректирует результаты каждого этапа, помогает правильно и выгодно представить результаты. В процессе работы над учебно-исследовательским проектом по высшей математике, студент-первокурсник проходит все те же важные этапы исследовательской деятельности, которые он будет проходить при работе над более серьезными проектами по специальным дисциплинам на старших курсах. Это и изучение имеющейся информации и ресурсов по выбранной теме; и анализ возможных методов исследования данной проблемы; и публичное представление результатов своего труда, что включает в себя оригинальную электронную презентацию, грамотный доклад, корректные аргументированные ответы на вопросы. Таким образом, на наш взгляд, студент приобретает тот безусловно необходимый опыт, который он может применить в других проектах.

**THE ROLE OF PREPARATION AND PROMOTION OF A STUDENT
RESEARCH PROJECT IN HIGHER MATHEMATICS IN THE
DEVELOPMENT OF PROFESSIONAL COMPETENCES IN THE
FIELD OF OPTICAL COMMUNICATIONS**

Balabaeva N.P., Enbom E.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Currently, student science is actively supported and stimulated at the state level, which is expressed in the announcement of a large number of competitions for scientific papers and grants for the development of projects in various fields of science, an important role among which is played by the field of optical communications. In order for a student to be able to productively and effectively participate in the development of a scientific project on optical communications, he must have sufficient knowledge in this field, which can only be achieved in the senior years of study. The Department of Higher Mathematics works with students starting from the first semester of study, and already at this time involves some students in research activities. In the process of working on an educational research project in higher mathematics, a first-year student goes through all the same important stages of research activities that he will go through when working on more serious projects in special disciplines in senior years.

УДК 681.7.068

**ВОПРОСЫ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ТЕХНОЛОГИИ
ПОДВЕСКИ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ НА ОПОРАХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБУЧАЮЩЕГО
ПОЛИГОНА**

*Никулина Т.Г., Натарова Е.П., Алехин И.Н., Гаврюшин С.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и
информатики)*

В России технология строительства волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) путем подвески оптических кабелей (ОК) на опорах линий электропередачи получила широкое применение. Только в рамках реализации проекта по устранению цифрового неравенства в РФ было построено более 70 % новых линий с применением данной технологии. Вместе с тем, обучение специалистов технологии подвески требует применения специализированных полигонов, позволяющих обучающимся получить навыки выполнения всех технологических операций по подвеске ВОЛС на воздушных линиях (ВЛ). В докладе рассмотрены вопросы обучения специалистов технологии подвески на примере обучающего полигона ВОЛС ВЛ Самарского регионального телекоммуникационного тренинг-центра ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики». В частности, поднимаются такие вопросы, как допуск обучающихся к работам на высоте, требования к оснащению полигона и содержанию учебной программы курса повышения квалификации.

**ISSUES OF TRAINING SPECIALISTS TECHNOLOGY FOR
SUSPENSION OF OPTICAL CABLES ON POWER LINE SUPPORTS
USING A TRAINING GROUND**

*Nikulina T.G., Natarova E.P., Alechin I.N., Gavryushin S.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)*

The report deals with the issues of training suspension technology specialists using the example of the training ground of the Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics. Issues such as the admission of students to work at height, requirements for the equipment of the training ground and the content of the curriculum of the advanced training course are considered.

**ВЛИЯНИЕ ФОРСИРОВАННОГО ПРОДВИЖЕНИЯ
ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТЕГИЙ
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Балабаева Н.П., Энбом Е.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Всеобъемлющее использование современных информационных и цифровых технологий, а также форсированная цифровизация всех сфер жизни, и образования в том числе, формирует новые вызовы в системе повышения квалификации преподавателей высшей школы. В процессе модернизации системы высшего технического образования серьезный акцент делается на интеграции цифровизации в процесс образования и обучения на всех его этапах, начиная с обучения преподавателей и заканчивая обучением студентов. Логично, что сначала обучение по новой проблематике должны пройти преподаватели, чтобы затем процесс обучения студентов мог быть организован с учетом всех достижений цифровых технологий. Это касается и непосредственно самих учебных дисциплин, и необходимых формальных организационных атрибутов, и учебно-методического обеспечения в новом цифровом формате.

Среди различных направлений курсов повышения квалификации, которые наш университет предлагает для преподавателей, можно выделить ряд программ, которые касаются цифровизации. На данном этапе именно они являются особенно востребованными. При контактной работе со студентами преподаватель видит, насколько они вовлечены в процесс цифровизации, что выражается в составлении электронного конспекта лекций, который некоторые учащиеся уже выполняют на графическом планшете, подключенном к ноутбуку, а не в тетради; постоянном общении в мессенджерах и между собой, и с преподавателем, и с представителями деканата, что позволяет им постоянно в моменте быть в курсе всех новостей группы, факультета и университета в целом; активном использовании личного кабинета в электронной образовательной среде вуза; применение различных онлайн-калькуляторов и программ для вычислений и построения графиков. Разумеется, преподаватель, который хочет идти в ногу со временем тотальной цифровизации, тоже должен владеть всеми этими компетенциями, приобретая их на курсах повышения квалификации и самостоятельно. Университет предлагает программы курсов повышения квалификации, позволяющие преподавателю получить и сразу же в моменте начать применять новые знания по использованию

новых цифровых интерактивных образовательных платформ, операционных систем, различных новых IT-технологий, корпоративной информационной среды, цифрового документооборота и цифровых сервисов. Особо существенную роль играет повышение квалификации, в ходе которого преподаватель осваивает новые образовательные технологии (внедрение современных электронных пособий, применение инновационного оборудования, применение информационных технологий при подготовке и проведении лекционных, практических и лабораторных занятий).

Развитие цифровых технологий в значительной мере меняет образовательные модели, структуру всех ступеней обучения, что с неизбежностью влияет на качество образования. Продвижение цифровых технологий в сферу образования предъявляет существенно новые серьезные требования к компетентностям преподавателя технического университета, что влечет за собой необходимость непрерывного повышения квалификации, обеспечивающего готовность преподавателя к работе с современными технологиями и новым оборудованием.

THE IMPACT OF ACCELERATED DIGITALIZATION ON DEFINING STRATEGIES FOR IMPROVING THE QUALIFICATIONS OF TECHNICAL UNIVERSITY TEACHERS

Balabaeva N.P., Enbom E.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In the process of modernization of the higher technical education system, serious emphasis is placed on the integration of digitalization into the process of education and training at all its stages, from teacher training to student training. The development of digital technologies significantly changes educational models, the structure of all stages of training, which inevitably affects the quality of education. The advancement of digital technologies in the field of education imposes significantly new serious requirements on the competencies of a technical university teacher, which entails the need for continuous professional development, ensuring the teacher's readiness to work with modern technologies and new equipment.

**ПРОДУКТИВНАЯ МОДЕЛЬ РУКОВОДСТВА
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМИ ПРОЕКТАМИ ПО ПРИКЛАДНОЙ
МАТЕМАТИКЕ СТУДЕНТОВ – БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В
ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ**

Балабаева Н.П., Энбом Е.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Техническое высшее образование сталкивается с проблемой необходимости реагирования на постоянные изменения в современном мире цифровых инноваций, что требует серьезных трансформаций образовательных моделей. Естественным образом это отражается на всей системе высшего технического образования, включая методы обучения, применение информационных технологий, формирование и использование информационных потоков, направленных на достижение образовательных целей. В связи с определенной объективной инертностью рабочих программ и оценочных средств дисциплин, роль быстрого реагирования на внешние изменения в технике и технологиях берет на себя привлечение студентов к работе над исследовательскими проектами по актуальной современной тематике. Особое значение этот момент приобретает в работе со студентами – будущими специалистами в области оптической связи, как наиболее интенсивно развивающейся отрасли.

Кафедра высшей математики начинает работать со студентами с первых дней их обучения в техническом университете, когда еще никаких профессиональных компетенций у них не сформировано. Поэтому исследовательские студенческие проекты, реализуемые на младших курсах, направлены на то, чтобы формировать и развивать исследовательскую компетентность молодых людей, тем самым давая им возможность воспринимать профессиональную информацию и развивать профессиональные компетенции в дальнейшем. Что касается тематики проектов, то, на наш взгляд, не стоит ограничиваться заранее определенными на кафедре сугубо математическими темами. Так как встречаются первокурсники, которые еще в старших классах школы уже заинтересовались какой-то темой, чаще связанной с цифровизацией или искусственным интеллектом, и хотят продолжать заниматься этой темой, а предметы соответствующей направленности появляются в расписании только на старших курсах, то в исследовательских проектах по кафедре высшей математики можно реализовать темы по математическим основам соответствующих прикладных вопросов. Современных первокурсников сложно заинтересовать чисто математическими темами в силу того, что

они выбрали своей профессией область оптической связи. Поэтому оптимальными будут темы проектов на стыке математики и технических наук. При этом работа над исследовательским проектом не только обогащает студента новыми знаниями, развивает его логическое и критическое мышление, но и формирует его исследовательскую компетентность, что служит основой для активного развития и продвижения в освоении профессиональных компетенций, а в будущем для продуктивной работы в интенсивно развивающейся отрасли оптической связи.

В заключение, применение цифровых технологий при подготовке и анализе студенческого научно-исследовательского проекта при сбалансированном их применении в сочетании с классическими методами исследования способно существенно дополнить образовательный процесс инновациями, и, главное, подготовить будущих специалистов в области оптической связи к современным вызовам профессии.

A PRODUCTIVE MODEL FOR MANAGING RESEARCH PROJECTS IN APPLIED MATHEMATICS FOR STUDENTS - FUTURE SPECIALISTS IN THE FIELD OF OPTICAL COMMUNICATIONS

Balabaeva N.P., Enbom E.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Technical higher education faces the problem of the need to respond to constant changes in the modern world of digital innovations, which requires serious transformations of educational models. Due to a certain objective inertia of work programs and assessment tools of disciplines, the role of rapid response to external changes in engineering and technology is taken by involving students in work on research projects on relevant modern topics. The use of digital technologies in the preparation and analysis of a student research project with their balanced use in combination with classical research methods can significantly supplement the educational process with innovations, and, most importantly, prepare future specialists in the field of optical communications for modern challenges of the profession.

РЕЗУЛЬТАТИВНЫЕ СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ АКТИВНОГО ДИВЕРГЕНТНОГО МЫШЛЕНИЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ*Балабаева Н.П., Энбом Е.А.**(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)*

Современные требования к характеристикам выпускника технического университета – специалиста в области оптической связи очень многогранны и включают в себя, кроме развитых профессиональных компетенций, также активное познание профессионально-деятельностной сферы, осознание необходимости и ценности научных исследований, стремление к постоянному самообразованию, открытость к самым смелым инновациям, и, что особенно важно, сформированность критического и дивергентного мышления. Достичь определенного уровня развития этих характеристик необходимо за короткое время обучения в университете, причем что касается математической составляющей соответствующих компетенций, вообще за полтора года изучения дисциплин математического цикла. Но современные реалии таковы, что уровень подготовки, особенно математической, у выпускников школ снижается, поэтому во время учебы в университете студент должен совершить под руководством преподавателя мощный скачок в своем развитии для выхода на требуемый уровень.

Развитое дивергентное мышление позволяет осуществлять творческий поиск принципиально различных решений конкретной поставленной задачи с применением как известных традиционных, так и неизвестных инновационных подходов. Задачи именно на развитие активного дивергентного мышления не рассматриваются в начале изучения какой-либо темы математического цикла, когда целью является наработка первичных вычислительных навыков и овладение основными методами и формулами данного раздела. Наиболее результативными для формирования и развития дивергентного мышления являются задания, объединяющие методологию различных разделов математики. Например, вывод уравнения плоскости, проходящей через три заданные точки, в процессе которого нужно определить необходимость компланарности векторов, что связано со смешанным произведением и вычислением соответствующего определителя, является заданием, для решения которого требуются знания из теории определителей, векторной алгебры и аналитической геометрии. Или, например, доказательство дифференциальных свойств ротора векторного поля связано с

применением теории определителей, дифференциального исчисления функции трех переменных и алгебры. Такого рода задачи позволяют не только актуализировать знания ранее изученных разделов, но и активно подключать мыслительные процессы дивергентного мышления. При этом важно перестроить сам принцип подачи теоретического материала на лекциях, когда преподаватель не выдает студентам уже готовое знание, а в ходе проблемной лекции инициирует активное обсуждение и помогает студенту самому найти путь доказательства. Этот момент поиска как раз дает толчок для активизации и развития элементов дивергентного мышления.

В заключение отметим, что всесторонне развитое дивергентное мышление обеспечивает высокий уровень овладения всеми общепрофессиональными и узкопрофессиональными компетенциями, что способствует повышению качества образования и саморазвития.

EFFECTIVE MEANS OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF ACTIVE DIVERGENT THINKING OF FUTURE SPECIALISTS IN THE FIELD OF OPTICAL COMMUNICATIONS

Balabaeva N.P., Enbom E.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Comprehensively developed divergent thinking ensures a high level of mastery of all general professional and narrow professional competencies, which contributes to improving the quality of education and self-development. Developed divergent thinking allows for a creative search for fundamentally different solutions to a specific task using both known traditional and unknown innovative approaches. The most effective tasks for the formation and development of divergent thinking are those that combine the methodology of various sections of mathematics. Such tasks allow not only to update the knowledge of previously studied sections, but also to actively engage the thought processes of divergent thinking.

ФАКТОРЫ УСПЕШНОСТИ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АСПЕКТА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА*Балабаева Н.П., Энбом Е.А.**(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)*

Проблема успешности результата деятельности по формированию и развитию математического аспекта исследовательской компетентности студентов младших курсов, будущих связистов и специалистов в области оптической связи, с необходимостью требует постоянного динамического изменения методик преподавания дисциплин математического цикла в техническом университете. Перед преподавателем математики стоит бывший школьник, который только начинает вливаться в университетскую среду, где для него все вновь, и распорядок, и формы обучения, и коллектив. В этих условиях далеко не все студенты могут в дополнение к учебной деятельности принимать активное участие в работе над исследовательскими проектами по высшей математике. Однако всегда удастся найти студентов, обладающих достаточно глубокими знаниями школьной программы по математике и способных к многозадачной деятельности.

При контактной работе со студентами на лекциях и на практических занятиях им предлагаются специфического вида задания, содержащие элементы исследования как теоретического, так и прикладного характера. Активное развитие математического аспекта исследовательской компетентности происходит в процессе решения заданий на доказательство определенных утверждений, сравнительный анализ методов вычисления различных величин, составление оптимальных математических моделей, интеграции методов и приемов различных разделов математики. Например, после завершения изучения интегралов по мере, обучающимся предлагается вычислить площадь плоской фигуры и объем трехмерного тела с помощью определенного, двойного, тройного и поверхностного интегралов, и сравнить ход решения и скорость получения результата в каждом случае. Задание такого типа не только помогает студентам осознать взаимосвязь между интегралами разных видов через призму прикладных геометрических задач, но и развивает логическое, дивергентное, абстрактное и критическое мышление. Также, например, при рассмотрении решения дифференциальных уравнений со стандартной или нестандартной правой частью, студентам дается индивидуальное задание, требующее получить решение уравнения двумя

принципиально разными методами – на основании теоремы об общем решении и операционным методом с помощью перехода к изображающему уравнению. В результате определенные студенты могут не только решить уравнение или вычислить площадь и объем несколькими требуемыми способами, но и провести сравнительный анализ оптимальности выбора соответствующего метода для применения в дальнейшем при рассмотрении практических динамических моделей и инженерных задач. Таким студентам можно рекомендовать принять участие в работе над исследовательскими проектами, причем не только по математике, но и по профильным инженерным дисциплинам в дальнейшем.

На вопрос, зачем преподавателю непрофильной общеобразовательной дисциплины кроме проведения лекций и практических занятий привлекать первокурсников к внеучебной исследовательской деятельности, ответ таков: цель высшего образования взрастить востребованного специалиста, с развитым креативным и критическим мышлением, который осознает всю ценность научного труда, и направлен на творческую инновационную деятельность и постоянное самообразование.

FACTORS OF SUCCESS IN THE DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL ASPECT OF RESEARCH COMPETENCE OF STUDENTS OF A TECHNICAL UNIVERSITY

Balabaeva N.P., Enbom E.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The problem of the success of the result of activities on the formation and development of the mathematical aspect of research competence of junior students, future communications specialists, specialists in the field of optical communications, necessarily requires a constant dynamic change in the methods of teaching disciplines of the mathematical cycle at a technical university. During contact work at lectures and practical classes with students, they are offered specific types of tasks containing elements of research of both theoretical and applied nature. Active development of the mathematical aspect of research competence occurs in the process of solving tasks on proving certain statements, comparative analysis of methods for calculating various quantities, compiling optimal mathematical models, integrating methods and techniques of various sections of mathematics.

СЕКЦИЯ 6

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

ПРИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОЛЬЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Бакирова Л.И.

(Уфимский университет науки и технологий)

Способность обнаруживать оптические пучки с орбитальным угловым моментом (ОУМ) имеет важное значение для ряда научных и технологических приложений [1]. Определение топологического заряда (порядка ОУМ) также ценно для изучения взаимодействия этих пучков с различными материалами и средами, что крайне важно для их практического применения [2].

В настоящее время существует большое количество методов генерации и обнаружения вихревых пучков. Причем многие устройства для обнаружения ОУМ используют те же элементы, что и генераторы вихревых пучков: спирально-фазовые пластины [3], голографическая решетка [4], решетки Даммана [5] и т.д. Одной из наиболее простой и эффективной структурой для генерации и детектирования ОУМ является микрокольцевой резонатор (МКР). Он представляет из себя кольцевой волновод с решетчатыми элементами для излучения вихревого пучка [6].

В работе представлены результаты численного моделирования приема вихревого пучка с порядками ОУМ $l_1=8$ и $l_2=9$ с помощью компактного МКР радиусом 5,5 мкм.

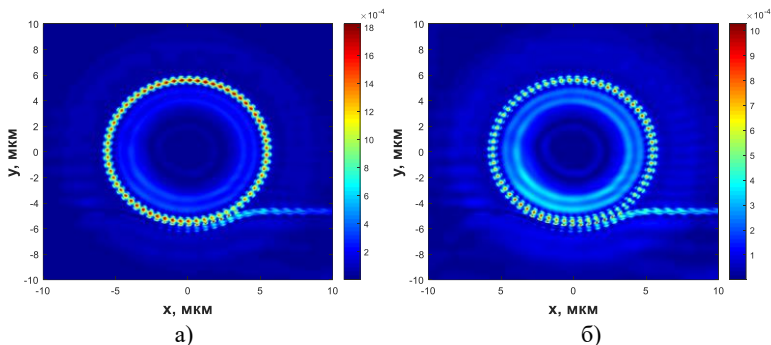


Рис. 1. Прием оптического вихревого пучка с помощью МКР для резонансной длины волны и порядком ОУМ: а) $\lambda_{\text{рез}} = 1529,25$ нм и $l_1=8$;

б) $\lambda_{\text{рез}} = 1546,39$ нм и $l_1=9$

Структура излучателя и результаты моделирования генерации вихревого пучка были представлены в работе [7]. На рис. 1 представлены

результаты приема принимающим резонатором поля излучения от излучающего резонатора для разных длин волн. В дальнейших исследованиях планируется разработка приемопередающей системы для определения передаваемого порядка ОУМ на основе микрокольцевых структур.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в молодёжной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

1. Nonlinear Conformal Transformation for In Situ IR-Visible Detection of Orbital Angular Momentum / Y. Liu [et al.] // *Laser & Photonics Reviews*. 2023. Vol. 17, no. 4. P. 2200656. DOI: 10.1002/lpor.202200656

2. Weng Y., Pan Z. Orbital Angular Momentum Based Sensing and Their Applications: A Review // *Journal of Lightwave Technology*. Vol. 41, no. 7. P. 2007–2016. DOI: 10.1109/JLT.2022.3202184

3. Yao A.M., Padgett M.J. Orbital angular momentum: origins, behavior and applications // *Advances in Optics and Photonics*. 2011. Vol. 3, no. 2. P. 161–204. DOI: 10.1364/AOP.3.000161

4. Entanglement of the orbital angular momentum states of photons / A. Mair [et al.] // *Nature*. 2001. Vol. 412, no. 6844. P. 313–316. DOI: 10.1038/35085529

5. Measuring the Orbital Angular Momentum of a Single Photon / J. Leach [et al.] // *Physical Review Letters*. 2002. Vol. 88, no. 25. P. 257901-1–257901-4. DOI: 10.1103/PhysRevLett.88.257901

6. Integrated Compact Optical Vortex Beam Emitters / X. Cai [et al.] // *Science*. 2012. Vol. 338, no. 6105. P. 363–366. DOI: 10.1126/science.1226528

7. Оптимизация распространения мод для излучателя оптических вихревых пучков на основе микрокольцевого резонатора / Л.И. Бакирова [и др.] // *Инфокоммуникационные технологии*. 2023. Т. 21, № 4. С. 29–37.

RECEIPT OF OPTICAL VORTEX BEAMS USING MICRO-RING RESONATORS

Bakirova L.I.

(Ufa University of Science and Technology)

This paper presents the results of a numerical simulation of the vortex beam reception with orders of $l_1=8$ and $l_2=9$ using a compact micro-ring resonator with a radius of 5.5 microns.

ДИЗАЙН ФОТОННОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ПРИЁМОПЕРЕДАТЧИКА С УПЛОТНЕНИЕМ КАНАЛОВ ПО ОРБИТАЛЬНОМУ УГЛОВОМУ МОМЕНТУ

Степанов И.В.

(Уфимский университет науки и технологий)

Одной из технологий, призванной решить проблему недостатка пропускной способности в оптических линиях связи является пространственное уплотнение каналов. Для реализации последнего зачастую предлагается использовать орбитальный угловой момент (ОУМ) [1]. В рамках статьи приводится схема, обеспечивающая генерацию оптического излучения, переносящего ОУМ, в плоскости фотонной интегральной схемы (ФИС), с последующим его уплотнением с фундаментальной модой волновода.

Для получения пучка, переносящего ОУМ, реализуется суперпозиция двух мод высшего порядка со сдвигом фаз между ними $\pi/2$. В качестве мод высшего порядка выступают поперечные электрические моды TE_{01} и TE_{10} . Для преобразования фундаментальной моды в моды высшего порядка используется условие фазового синхронизма [2].

На передающей стороне схема работает следующим образом: излучение от лазера вводится на ФИС через торцевой ввод, в ФИС попадают фундаментальные поперечные электрическая и магнитная моды (TE_{00} и TM_{00} , соответственно). Введённое излучение делится на два плеча, где происходит его модуляция в соответствии с информационными каналами. Первый канал должен передаваться с помощью оптического вихревого пучка. Поэтому на выходе модулятора установлен модовый фильтр, который разделяет суммарный сигнал, состоящий из суммы мод TE_{00} и TM_{00} на отдельные выходы.

После него часть моды TE_{00} попадает на направленный ответвитель, где по условию фазового синхронизма происходит её преобразование в моду высшего порядка TE_{10} . Одновременно с этим мода TM_{00} с выхода многомодового ответвителя преобразуется в моду высшего порядка TE_{01} . Ввод мод TE_{10} и TE_{01} в волновод, где формируется оптический вихрь, осуществляется через направленные ответвители.

В это же время сигнал для второго канала без преобразования моды модулируется вторым информационным каналом. После этого модулированный сигнал объединяется с первым каналом через общий волновод направленного ответвителя, используемого для ввода моды TE_{01} .

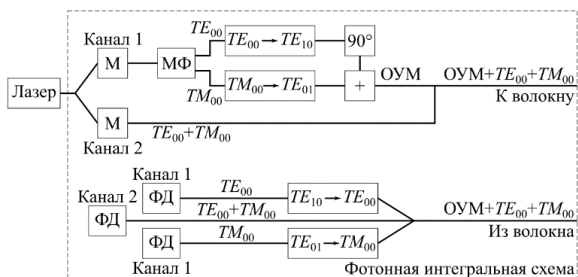


Рис. 1. Схема приёмопередающего устройства: М – модулятор, МФ – модовый фильтр, ФД – фотодетектор

На приёмной стороне оптический вихрь разделяется на составляющие его моды, которые преобразуются в фундаментальные составляющие, преобразуемые в электрический сигнал с помощью фотодетекторов. При этом канал с фундаментальной модой практически без потерь энергии доходит до фотодетектора. Верификация предлагаемой схемы производилась посредством численного моделирования в программной среде Ansys Lumerical.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в молодёжной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

1. Multimode Communications Using Orbital Angular Momentum / J. Wang [et al.] // Optical Fiber Telecommunications. 2013. P. 569–615.

2. Xing P., Viegas J. Broadband CMOS-Compatible SOI Temperature Insensitive Mach-Zehnder Interferometer // Optics Express. 2015. Vol. 23, no. 19. P. 24098. DOI: 10.1364/oe.23.024098

A PHOTONIC INTEGRATED CIRCUIT DESIGN OF A TRANSCIVER WITH ORBITAL ANGULAR MOMENTUM MULTIPLEXING

Stepanov I.V.

(Ufa University of Science and Technology)

The article presents a photonic integrated circuit design for an optical transceiver with an orbital angular momentum multiplexing. Design verification is performed with Ansys Lumerical software.

СЕТИ ФИКСИРОВАННОЙ СВЯЗИ ШЕСТОГО ПОКОЛЕНИЯ F6G

Росляков А.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В последнее время мировое телекоммуникационное сообщество по аналогии с мобильными сетями приступило к определению перспектив развития сетей фиксированной связи, которое сформулировано в виде концепции сетей 6-го поколения (F6G). Сети F6G отличаются от сетей предыдущих поколений (F1G–F5G) тем, что они одновременно поддерживают несколько ключевых требований к инфокоммуникационным услугам, таких как задержка передачи данных, полоса пропускания канала связи и возможность подключения пользователей к сети.

Известные категории услуг сетей поколения F5G (eFBB, FFC, GRE) [1] дополнены новыми категориями в сетях F6G (Рис. 1):

- 1) полностью оптоволоконное широкополосное соединение FFBC;
- 2) высококачественная надежная связь с широкополосным оптоволоконным соединением GRFB;
- 3) полностью оптоволоконное соединение с гарантированной надежной работой GRFE.

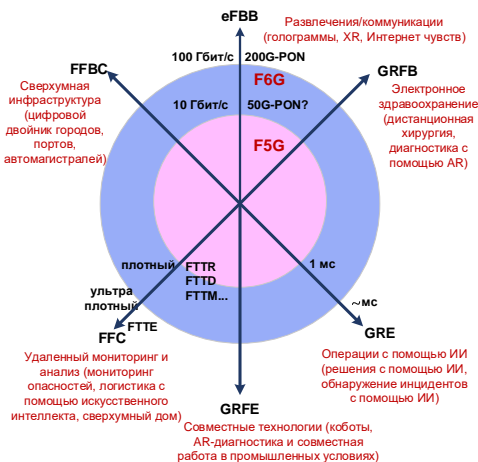


Рис. 1. Сравнение сетей F5G и F6G

В докладе приведена классификация ключевых услуг F6G и показаны их основные требования, которые необходимо выполнять одновременно: низкая задержка, высокая скорость передачи данных и широкие возможности подключения, включая полностью оптоволоконное соединение FTTE (Fiber to the Everything).

Рассмотрены основные новые технологические решения сетей F6G, которые будут разработаны с использованием недорогих оптических технологий с низким энергопотреблением. В частности, признавая, что электроника приближается к своим пределам и, что полностью оптические методы передачи и обработки сигналов будут все чаще применяться, планируется использовать оптические преобразователи «аналог-цифра» (АЦП/ЦАП), что позволит повысить энергоэффективность и производительность будущей сети.

Основными направлениями увеличения скорости передачи данных в полностью оптических сетях F6G являются использование более спектрально эффективных форматов модуляции, полное использование физически доступных полос пропускания одномодового волокна и внедрение мультиплексирования с пространственным разделением оптических сигналов SDM (Space Division Multiplexing). Реализация каждой из этих стратегий или их комбинации зависит от сетевого домена (например, городская сеть или магистраль) и целевых ограничений по стоимости, занимаемой площади и рассеиваемой мощности.

1. Росляков А.В. Сети фиксированной связи пятого поколения: учебное пособие. М.: ИКЦ «Колос-с», 2024. 232 с.

FIXED COMMUNICATION NETWORKS F6G

Roslyakov A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The sixth generation of fixed-line networks F6G is considered. The difference between new services and the previous generation F5G services is shown. New technological solutions for building F6G networks are analyzed.

СЕКЦИЯ 7

**МИКРОВОЛНОВАЯ
ФОТОНИКА**

**КОМБИНИРОВАННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ СЕНСОР
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ**

*Каид М.Р.Т.М., Сахабутдинов А.Ж., Аглиуллин Т.А.,
Валеев Б.И., Альхуссейн А.Н.*

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ)*

Волоконно-оптические датчики активно исследуются благодаря их преимуществам перед традиционными датчиками, таким как небольшой размер, малый вес, высокая точность, устойчивость к электромагнитным помехам и стойкость к агрессивным средам [1]. Наиболее важными среди них являются датчики на основе волоконной Брэгговской решетки (ВБР) и интерферометра Фабри-Перо (ФП), которые применяются в таких областях, как строительство, энергетика, медицина и химический анализ [2].

Объединение ВБР и интерферометра ФП в единую волоконно-оптическую систему позволяет объединить преимущества двух различных резонансных элементов, работающих на различных оптических частотах [3]. Совместное использование ВБР и интерферометра ФП создает точный и высокочувствительный датчик температуры. На схеме показан процесс опроса комбинированного волоконно-оптического датчика температуры (Рис. 1). Система включает в себя DFB лазер, гребенчатый генератор (Comb Generator), циркулятор, комбинированный датчик (ФП+ВБР), фотоприемник, блок фильтрации, блок аналого-цифрового преобразования (ADC) и компьютер для анализа данных. Процесс работы комбинированного волоконно-оптического датчика температуры начинается с того, что DFB лазер генерирует узкополосное излучение. Это излучение направляется на генератор гребенки (Comb Generator), который создает несколько частотных компонент для многоканального зондирования. Затем свет проходит через циркулятор, который направляет его в сторону датчика, состоящего из интерферометра ФП и ВБР. Эти элементы взаимодействуют со светом, изменяя его параметры в зависимости от температуры окружающей среды. Отраженный сигнал снова проходит через циркулятор и попадает на фотоприемник, который преобразует световой сигнал в электрический. Затем электрический сигнал поступает в блок фильтрации, где производится обработка частотного сигнала. Далее сигнал направляется в блок ADC, где он переводится в цифровую форму. Наконец, цифровые данные поступают на компьютер, где они анализируются и визуализируются.

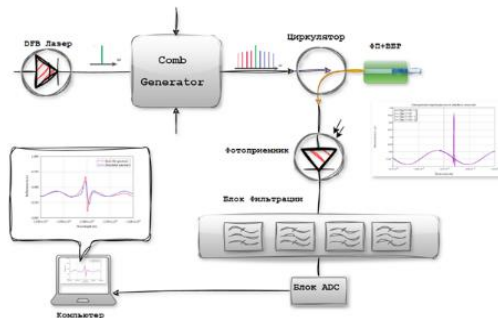


Рис. 1. Схема опроса комбинированного волоконно-оптического датчика температуры

1. Fiber-Optic Hydraulic Sensor Based on an End-Face Fabry–Perot Interferometer with an Open Cavity / O. Morozov [et al.] // Photonics. 2024. Vol. 11, no. 1. P. 1–22.
2. Ngiejungbwen L.A., Hamdaoui H., Chen M. Polymer Optical Fiber and Fiber Bragg Grating Sensors for Biomedical Engineering Applications: A Comprehensive Review // Optics and Laser Technology. 2024. Vol. 170. P. 110187–110226.
3. Enhancing Microwave Photonic Interrogation Accuracy for Fiber-Optic Temperature Sensors via Artificial Neural Network Integration: 2 / R. Makarov [et al.] // Optics. 2024. Vol. 5, no. 2. P. 223–237.

COMBINED FIBER-OPTIC SENSOR FOR TEMPERATURE MEASUREMENT

*Qaid M.R.T.M., Sakhaboutdinov A.Z., Agliullin T.A.,
Valeev B.I., Alhussein A.N.
(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This paper presents the development of a combined fiber-optic sensor based on the integration of a Fabry-Perot interferometer and a fiber Bragg grating (FBG) to enhance the accuracy and sensitivity of temperature measurements in biological objects. These devices typically operate at temperatures up to 10°C to maintain optimal conditions for biological systems. The combination of Fabry-Perot and FBG technologies significantly improves measurement accuracy.

РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВ ДЛЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ*Петров Н.А., Муравьев И.Ю.**(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)*

Современные сверхширокополосные системы связи легко поддаются воздействию различных активных или пассивных шумов. В связи с этим, была поставлена задача подавления помех в широкой полосе частот, что послужило реализации систем точного восприятия шумовых помех. Традиционные системы обнаружения помех принимают и обрабатывают сигнал в радиодиапазоне, однако эти устройства имеют большой объем и вес, высокую стоимость, высокое энергопотребление и уязвимы к электромагнитным помехам. С развитием радиофотонных технологий появилось решение данных недостатков. Передача и обработка микроволновых сигналов с помощью фотонных устройств позволяет преодолеть проблемы электронных систем с точки зрения скорости обработки и полосы пропускания, а также значительно повысить эффективность генерации, передачи и обработки сигналов в широкополосных схемах. К тому же, преимущества микроволновой фотоники могут быть использованы для более качественного обнаружения, обработки и подавления интерференционных и шумовых сигналов при сравнительно больших полосах пропускания.

Предложенная схема является надёжным средством подавления помех, объединяющим широкополосную связь, фотонику, электронику и автоматическое управление. Оно базируется на технологии распознавания многочастотных шумовых помех в системе связи с расширенным спектром и предназначено для решения проблемы внутриволновых помех, с которыми часто сталкиваются при широкополосной связи.

Принцип работы схемы представленной на рис. 1 основан на применении двух перестраиваемых гетеродинов, которые позволят осуществить покрытие широкого диапазона частот. Первым делом, узкополосное лазерное излучение модулируется сигналом первичного гетеродина с помощью модулятора Маха-Цендера, работающего в точке минимума для получения двухполосного спектра с подавлением оптической несущей. Далее, полученный сигнал разделяется и подаётся на две параллельные ветви. В первую ветвь идёт верхняя полоса спектра, где она модулируется принимаемым радиосигналом, а во вторую направляется нижняя полоса, которая модулируется сигналом вторичного гетеродина. Стоит отметить, что модуляторы Маха-Цендера в обеих ветвях также

настроены на работу в точке минимума. В качестве последнего шага, нижняя полоса сигнала с первой ветви и верхняя полоса сигнала со второй ветви отправляются на когерентный приёмник с подавления мнимой составляющей, выходом которого является избавленный от шумов принимаемый радиосигнал.

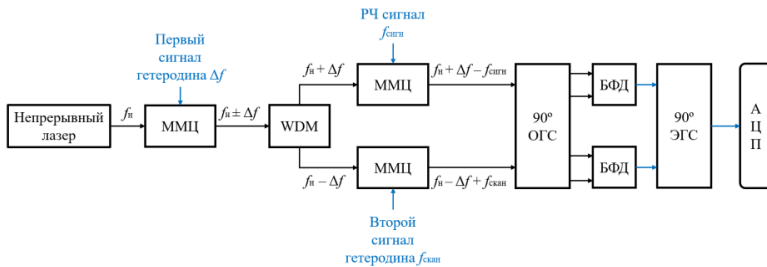


Рис. 1. Блок-схема представленного радиофотонного устройства

Для того чтобы проверить способность представленной системы воспринимать сигналы помех в диапазоне от 0 до 40 ГГц были проведены программные симуляции. Первичный и вторичный гетеродины настраивались таким образом, чтобы реализовать скачкообразную перестройку частоты во всей рассматриваемой полосе измерений, при разнице в мощности генерации между ними менее 3 дБ. По итогу моделирования приёма входного радиосигнала, равномерность мощности выходного сигнала во всем диапазоне измерения оказалась высока, а отношение сигнал/шум было достигнуто более 60 дБ.

MICROWAVE PHOTONIC NOISE SUPPRESSION SYSTEM FOR ULTRA-WIDEBAND SIGNALS

Petrov N.A., Muravev I.Yu.

*(Kazan national research technical university
named after A. N. Tupolev – KAI)*

Microwave photonic scheme that has effective suppression of narrowband strong interference and provide technical support for the performance improvement of broadband spread spectrum communication system is presented.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РАДИОФОТОНИКИ В СОСТАВЕ МНОГОЧАСТОТНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

*Ростокин И.Н.¹, Федосеева Е.В.¹, Шукин Г.Г.², Ростокина Е.А.¹
(¹Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, ²Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского)*

Опасные атмосферные явления в виде ливневых осадков, шторма, града, мощных снежных зарядов могут наносить существенный ущерб в разных отраслях экономики, нести угрозу жизни людей. Поэтому разработка новых методик и совершенствование реализующих их систем раннего предупреждения о возможном возникновении данных явлений имеет важное практическое значение и актуально в условиях существенных изменений климата, а микроволновое радиометрическое зондирование атмосферы дополнительно отвечает требованиям электромагнитной безопасности для людей и возможности создания сети оперативного отслеживания состояния атмосферы при работе в автономном режиме [1].

Включение в состав микроволновых систем дистанционного зондирования элементов радиофотоники позволит снизить потери сигнала при передаче его к оконечным устройствам обработки, что в целом способствует повышению чувствительности систем [2].

Данная работа направлена на повышение точности микроволновых измерений путем включения в промежуточный тракт системы элементов радиофотоники с целью уменьшения потерь сигнала и перехода к цифровому способу выполнения конечного формирования выходного накопленного сигнала с возможностью программного изменения времени накопления в условиях выявления предикторов опасных атмосферных явлений при работе нейронных сетей [3].

1. Design Features of Microwave Photonic Radars / I.N. Rostokin [et al.] // Optical Technologies for Telecommunications: XVII International Scientific and Technical Conference. Proceedings of SPIE. 2020. Vol. 11516. P. 115160L-1-6. DOI: 10.1117/12.2566327

2. Лидарно-радиолокационный метеорологический комплекс / Г.Г. Шукин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58, № 10-3. С. 100–103.

3. Радиофотонный тракт сигналов промежуточной частоты многочастотной микроволновой радиометрической системы дистанционного зондирования

USE OF RADIOPHOTONICS DEVICES AS PART OF MULTI-FREQUENCY MICROWAVE RADIOMETRIC SYSTEMS FOR REMOTE SENSING OF THE ATMOSPHERE

Rostokin I.N.¹, Fedoseeva E.V.¹, Shchukin G.G.², Rostokina E.A.¹

(¹Murom Institute of Vladimir State University

named after A.G. and N.G. Stoletov, ²Military Space Academy

named after A.F. Mozhaisky)

Dangerous atmospheric phenomena in the form of heavy precipitation, storms, hail, powerful snow charges can cause significant damage in different sectors of the economy and threaten human life. Therefore, the development of new methods and improvement of early warning systems realizing them about possible occurrence of these phenomena is of great practical importance and relevant in the conditions of significant climate changes, and microwave radiometric atmospheric sounding additionally meets the requirements of electromagnetic safety for people and the possibility of creating a network of operational tracking of the state of the atmosphere when working in an autonomous mode. The inclusion of radiophotonics elements in microwave remote sensing systems will reduce signal losses during its transmission to terminal processing devices, which in general contributes to increasing the sensitivity of the systems.

ОЦЕНКА ФЛУКТУАЦИОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАДИОФОТОННЫХ РАДИОМЕТРОВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

*Ростокин И.Н.¹, Федосеева Е.В.¹, Шукин Г.Г.², Ростокина Е.А.¹
(¹Муромский институт (филиал) Владимирского государственного
университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, ²Военно-космическая
академия имени А.Ф. Можайского)*

В докладе представлен комплекс методических рекомендаций для реализации метода цифрового повышения точности прогнозов опасных атмосферных явлений при адаптивном изменении чувствительности многодиапазонных микроволновых измерений, при исследованиях структурно неоднородных областей осадков на основе решения задачи оптимального выбора времени накопления выходного сигнала. Оценка предельных значений времени накопления выходного сигнала в каждом частотном диапазоне, исходя из условия исключения пропуска относительных изменений выходного сигнала, обусловленных появлением в эффективно излучающей продольной области атмосферы структурной неоднородности, например, в виде зоны интенсивных осадков [1].

Величина данных сигналов существенно зависит от наличия в удаленной области атмосферы зоны с интенсивными осадками, поэтому изменения низкочастотных сигналов могут быть связаны с появлением условий формирования и развития опасных атмосферных явлений. С целью достоверного выявления таких изменений необходимо применить процедуру увеличения чувствительности необходимо в отдельности по всем каналам.

К полученным результатам сверхвысокой частоты (СВЧ) радиометрических исследований горизонтально неоднородной атмосферы, содержащей зоны интенсивных осадков, был применен метод последовательного увеличения времени накопления сигнала с параллельной сравнительной оценкой среднего уровня регистрируемой мощности радиотеплового излучения атмосферы для разных постоянных времени накопления. Это позволило разработать методические указания к реализации цифрового метода повышения чувствительности СВЧ радиометрических измерений неоднородной атмосферы [2]:

– сформировать последовательность численных результатов СВЧ микроволновых измерений во всех частотных диапазонах с постоянной времени, задаваемой техническими параметрами СВЧ радиометрической системы;

– выполнить накопление – суммирование данных измерений по алгоритму скользящего окна разной длительности от 1 с до 20 с, задаваемой временем накопления по отдельности для каждого диапазона, при реализации функции цифрового интегратора;

– оценить влияние сглаживающего эффекта при увеличении длительности окна цифрового интегратора на отличие регистрируемых временных зависимостей для оценки оптимального времени накопления для получения возможности оценки приращения сигналов без снижения быстродействия отклика при наличии временных изменений в состоянии атмосферы.

1. Radiophotonic Path of Intermediate Frequency Signals of Multi-Frequency Microwave Radiometric System for Remote Sensing of the Atmosphere / I.N Rostokin [et al.] // Optical Technologies for Telecommunications: XXI International Scientific and Technical Conference. Proceedings of SPIE. 2024. Vol. 13168. P. 1316803. DOI: 10.1117/12.3025469

2. Вопросы цифрового накопления выходных сигналов многодиапазонной СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы / Е.В. Федосеева [и др.] // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2024. № 2. С. 5–14.

ESTIMATION OF FLUCTUATION SENSITIVITY OF MILLIMETER-WAVE RADIOPHOTON RADIOMETERS

Rostokin I.N.¹, Fedoseeva E.V.¹, Shchukin G.G.², Rostokina E.A.¹

(¹Murom Institute of Vladimir State University

*named after A.G. and N.G. Stoletov, ²Military Space Academy
named after A.F. Mozhaisky)*

The report presents a set of methodological recommendations for realization of the method of digital increase of accuracy of forecasts of dangerous atmospheric phenomena at adaptive change of sensitivity of multiband microwave measurements, at investigations of structurally heterogeneous precipitation areas on the basis of solution of the problem of optimal choice of the time of accumulation of the output signal. Estimation of the limit values of the output signal accumulation time in each frequency range, based on the condition of excluding the omission of relative changes in the output signal, caused by the appearance of structural inhomogeneity in the effectively radiating longitudinal region of the atmosphere, for example, in the form of a zone of intense precipitation.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ С РАСШИРЕННЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ НА ОСНОВЕ АКУСТООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА И МОДУЛЯТОРА МАХА-ЦАНДЕРА

*Кузнецов А.А., Липатников К.А., Харитонов Д.Ю., Смирнов Н.Д.
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ)*

Для определения характеристики динамического диапазона SFDR реализуем схему с трехчастотным излучением с двумя модуляторами (Рис.1): модулятором Маха-Цандера (ММЦ) и акустооптическим (АОМ). Таким образом в первом плече ММЦ работающий в нулевой рабочей точки формирует двухчастотное излучение с подавленной несущей, а акустооптический модулятор во втором плече в нулевой рабочей точки смещает несущую. Объединив излучения из этих плеч в результате получается ассиметричное трехчастотное излучение.

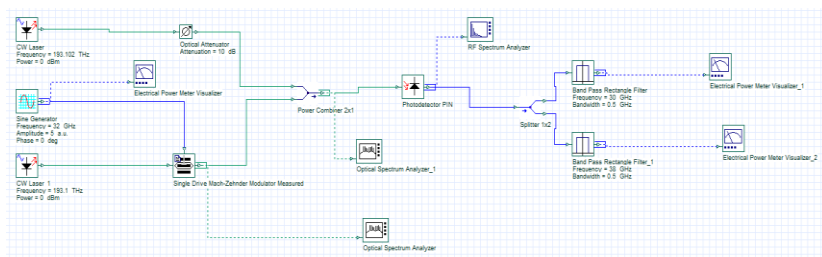


Рис. 1. Схема с ММЦ и АОМ

В программном пакете OptiSystem не имеется возможности использовать акустооптический модулятор, поэтому его заменяет лазер с несущей смещенной на 2 ГГц. Таким образом благодаря тому, что в схеме используется один генератор в плече с ММЦ, то в нем не возникает интермодуляционных искажений, что повышает SFDR данной схемы. Ниже (Рис. 2) представлена зависимость выходной мощности фотоприемника от входной мощности генератора.

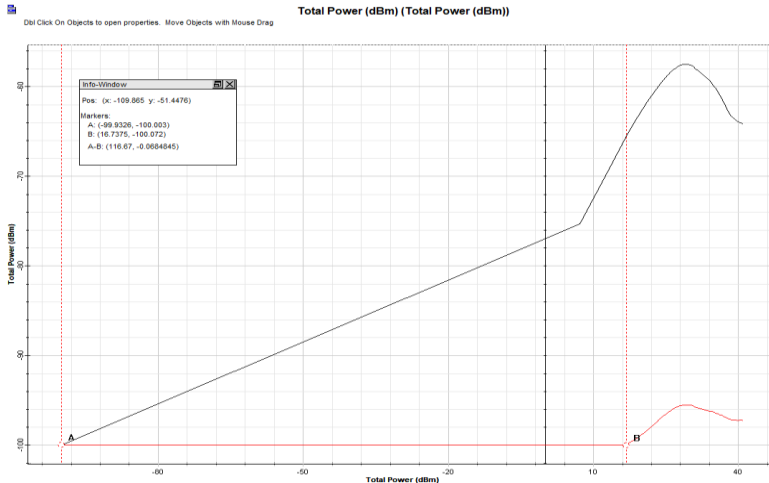


Рис. 2. Передаточная характеристика схемы с ММЦ с АОМ (черная линия – мощность на f_1 , красная линия – мощность на $2f_2-f_1$)

По полученным данным определим значение динамического диапазона, согласно [1], динамический диапазон данной схемы составил 116 dBm.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, <https://rscf.ru/project/23-79-10059/>.

1. Кузнецов А.А. Концепция построения радиофотонных оптических векторных анализаторов нового типа // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2021. № 1. С. 47–55.

SIMULATION OF A THREE-FREQUENCY RADIATION CIRCUIT BASED ON AN ACOUSTO-OPTIC MODULATOR AND A MACH-ZENDER MODULATOR

*Kuznetsov A.A., Lipatnikov K.A., Kharitonov D.Yu., Smirnov N.D.
(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The article presents a simulation of a three-frequency circuit based on an acousto-optic modulator and a Mach-Zender modulator to determine the characteristics of the dynamic range. The transfer characteristic shows a slight increase in SFDR to 116 dBm.

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХПОРТОВОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МОДУЛЯТОРА МАХА-ЦАНДЕРА И АКУСТООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА

Кузнецов А.А., Липатников К.А., Харитонов Д.Ю., Смирнов Н.Д.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)

Возникновение комбинационных частот из-за нелинейности количественно определяется с помощью SFDR. Этот параметр может быть определен как диапазон входной мощности (или выходной мощности), в котором выходной сигнал выше минимального уровня шума на выходе и при этом все паразитные сигналы (помехи) меньше либо равны минимальному уровню шума на выходе устройства [1]. Для определения характеристики динамического диапазона SFDR приведем схему с двумя модуляторами (Рис. 1): двухпортовым параллельным модулятором Маха-Цандера (ДП ММЦ) и акустооптическим (АОМ). В данной схеме ДП ММЦ смоделирован путем использования двух обычных ММЦ включённых параллельно.

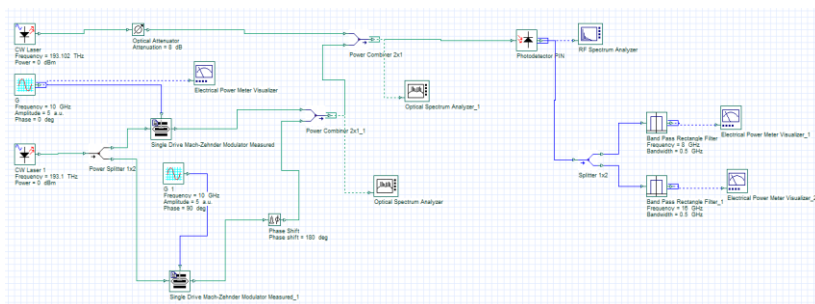


Рис. 1. Схема с ДП ММЦ и АОМ

По спектрам, приведенным на рис. 2 видно, что подавление несущей в этой схеме значительно лучше, по сравнению с традиционной схемой на основе ММЦ.

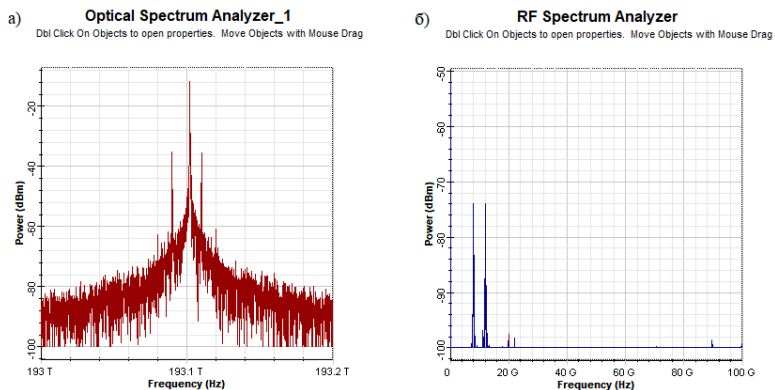


Рис. 2. Спектры схемы с ДП ММЦ и АОМ:
а) оптический спектр; б) радиочастотный спектр

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, <https://rscf.ru/project/23-79-10059/>.

1. Кузнецов А.А. Сравнительная оценка способов формирования излучений в виде сверхзаклопосного пакета дискретных частот // Инженерный вестник Дона. 2021. № 9 (81). С. 44–51.

EVALUATION OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF OPTICAL DEVICES USING A TWO-PORT PARALLEL MACH-ZANDER MODULATOR AND AN ACOUSTO-OPTIC MODULATOR

Kuznetsov A.A., Lipatnikov K.A., Kharitonov D.Yu., Smirnov N.D.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI)*

The article presents a simulation of circuit based on an acousto-optic modulator and a dual-port Mach-Zehnder modulator to determine the characteristics of the dynamic range. The transfer characteristic shows a slight increase in SFDR to 115,3 dBm.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ
ЗАДЕРЖКИ В ПЕТЛЕ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ
ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛЯТОРА В КАЧЕСТВЕ
ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ**

*Иванов В.В., Степанов И.В., Воронков Г.С.
(Уфимский университет науки и технологий)*

В последние годы оптоэлектронные осцилляторы (ОЭО) быстро развиваются как генераторы сверхвысокочастотных (СВЧ) колебаний, так в качестве систем опроса датчиков (интеррогаторов) [1]. Использование систем опроса датчиков на основе ОЭО особенного актуально в приложениях, где критически важны частота и точность опроса (например, анализ концентрации химических растворов [2]). В качестве таких датчиков, в подавляющем числе работ, используются высокодобротные оптические резонаторные структуры, а именно, брэгговские решетки, микрокольцевые резонаторы, микродисковые резонаторы и др. [3], изменение резонансных характеристик которых меняет частоту СВЧ сигнала на выходе ОЭО (f_0). В большинстве случаев данные структуры являются режекторными фильтрами в ОЭО (Рис. 1).

Изменение времени задержки в петле обратной связи приводит к изменению фазового набега ОЭО $\Delta\varphi = 2\pi f_0 \Delta\tau$, где $\Delta\tau$ – изменение времени задержки оптического сигнала. Зависимость между изменением фазового набега и частотой колебаний задается выражением $\Delta f = -\Delta\varphi / 2\pi T$, где T – время задержки сигнала в оптической части петли обратной связи ОЭО. Соответственно, оптическая перестраиваемая линия задержки в петле обратной связи ОЭО может быть использована как чувствительный элемент системы.

В этом случае изменение временной задержки фактически отражает изменение оптической длины петли обратной связи $c\Delta\tau = n\Delta L + L\Delta n$, где n и Δn – эффективный показатель преломления и его изменение, c – скорость света в вакууме, а L и ΔL – это физическая длина и ее изменение. Таким образом, можно измерить любое воздействие, влияющее на физическую и оптическую длину петли обратной связи и эффективный показатель преломления чувствительного элемента, включая изменение расстояния, положения, температуры, деформации, вибрации и так далее.

При этом достижения интегральной фотоники позволяют реализовать миниатюрные и одновременно чувствительные к изменениям внешней среды линии задержки [4].

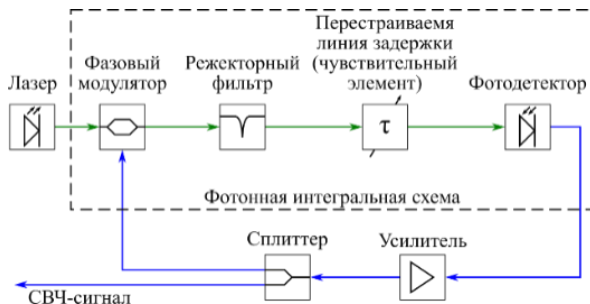


Рис. 1. Предлагаемая схема ОЭО с чувствительным элементом в петле обратной связи. Зелёным показана оптическая часть, синим – электрическая

А преимуществом предложенного подхода является одновременно увеличение предельной частоты опроса при изменении параметров анализируемого параметра и снижение требований к оконечному измерительному оборудованию.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в молодёжной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

1. Optoelectronic Oscillators (OEOs) to Sensing, Measurement, and Detection / X. Zou [et al.] // IEEE Journal of Quantum Electronics. 2016. Vol. 52, no. 1. P. 1–16.

2. Yao J. Microwave Photonics for High-Resolution and High-Speed Interrogation of Fiber Bragg Grating Sensors // Fiber and Integrated Optics. 2015. Vol. 34, no. 4. P. 204–216.

3. Recent Advances in Optoelectronic Oscillators / T. Hao [et al.] // Advanced Photonics. 2020. Vol. 2, no. 4. P. 1. DOI: 10.1117/1.AP.2.4.044001

4. Dhillon A.S., Radi B., Liboiron-Ladouceur O. An Analysis of RF On-Chip Antennas in Si-Based Integrated Microwave Photonics // IEEE Photonics Journal. 2021. Vol. 13, no. 2. DOI: 10.1109/JPHOT.2021.3062883

AN INTEGRATED OPTICAL TIME DELAY LINE IN THE OPTOELECTRONIC OSCILLATOR FEEDBACK LOOP AS A SENSING PROBE OF AN INTERROGATION SYSTEM

*Ivanov V.V., Stepanov I.V., Voronkov G.S.
(Ufa University of Science and Technology)*

The article presents an interrogation approach for the optoelectronic oscillator with an integrated optical time delay line as a sensing probe.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ В ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НА ДИФРАКЦИЮ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ МИКРОАКСИКОНА

Сергунин С.К., Хорин П.А.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва)

Оптический аксикон, формирующий конический волновой фронт, известен уже более ста лет, но его применение в разных приложениях становится все шире, что также влечет внесение различных модификаций и усложнений в его структуру [1]. В работе [2] было показано, что интерферограммы с коническим опорным пучком являются более чувствительными к абберациям волнового фронта, обеспечивая лучшую эффективность их распознавания методами машинного обучения.

В данной работе мы исследуем влияния отклонений в оптической системе на дифракцию в ближней зоне рефракционного микроаксикона (Рис. 1). Рассматривается влияние смещения освещающего пучка, а также внесение наклона аксикона, т.е. нарушение соосности освещающего пучка и оптического элемента.

Моделирование производилось на основе решения уравнения Максвелла методом конечных разностей во временной области (FDTD). Освещающий пучок имеет гауссово распределение с линейной поляризацией и центральной длиной волны 0,5 мкм. Параметры аксикона были выбраны следующие: угол при вершине 120 градусов, высота аксикона 2 мкм, показатель преломления 1,4.

В работе рассматриваются углы наклона в 0, 30, 60, 90, 120 градусов к оптической оси. На рис. 1 приведены результаты расчета для аксикона, наклоненного на 30 градусов (Рис. 1).

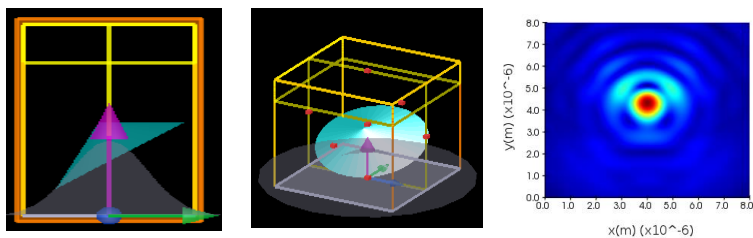


Рис. 1. 3D вид наклонного микроаксикона (слева и в центре) и соответствующее распределение интенсивности в поперечной плоскости

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 247910101.

1. Khonina, S.N. Modern Types of Axicons: New Functions and Applications / S.N. Khonina [et al.] // *Sensors*. 2021. Vol. 21. P. 6690. DOI: 10.3390/s21196690

2. Comparing of Linear and Conical Interferograms for Wavefront Aberrations Analysis Based on Neural Networks / P.A. Khorin [et al.] // *Optical Technologies for Communications: XIX International Scientific and Technical Conference. Proceedings of SPIE*. 2021. Vol. 12295. P. 122950Q. DOI: 10.1117/12.2630978

MODELING AND STUDYING THE FOCUSING OF PULSED LASER BEAMS USING MICROAXICON

*Sergunin S.K., Khorin P.A.
(Samara National Research University)*

We investigate the effects of optical system deviations on the near-field diffraction of a refractive microaxicon. We consider the influence of the displacement of the illuminating beam, as well as the inserting of the microaxicon tilt, i.e., a violation of the coaxiality of the illuminating beam and the optical element.

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ СХЕМЫ С ДВУХПОРТОВЫМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ МОДУЛЯТОРОМ МАХА-ЦАНДЕРА

Кузнецов А.А., Липатников К.А., Харитонов Д.Ю., Смирнов Н.Д.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)

При проектировании и испытании любой приемо-передающей системы необходимо выполнять оценку нелинейных искажений и динамических характеристик. Выдвинем следующую гипотезу об определяющем влиянии свойств модулятора и фотоприемника на результирующие характеристики: результирующие характеристики динамического диапазона (CDR и SFDR) будут в первую очередь определяться модулятором. Попытка исключить влияние модулятора при оценке SFDR может быть сделана, если будут созданы условия, исключающие возникновение интермодуляционных искажений (ИМИ) в самом модуляторе. Рассмотрим схему, позволяющую получить такое излучение (Рис. 1) [1].

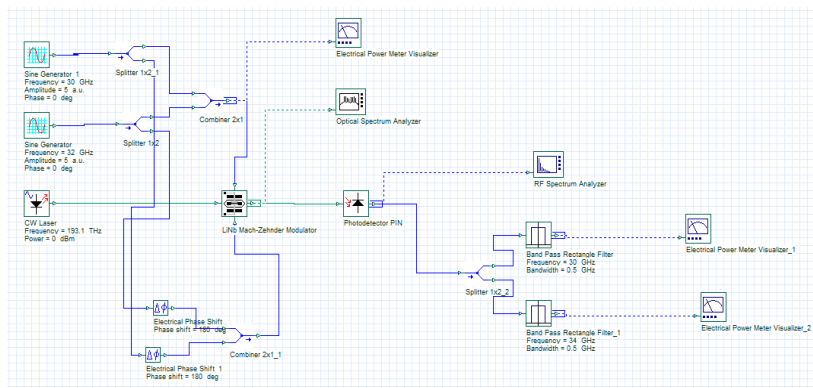


Рис. 1. Схема на основе двухпортового модулятора Маха-Цандера

Как видно на схеме рис. 1 в каждом из плеч двухпортового параллельного модулятора Маха-Цандера выполняется однополосная модуляция по амплитуде. Это позволяет получить на выходе модулятора трехчастотное асимметричное излучение. С ростом мощности входного радиочастотного сигнала будет возрастать влияние гармоник высшего порядка и повышение мощности интермодуляционной составляющей, и как следствие уменьшение SFDR такой схемы (Рис. 2).

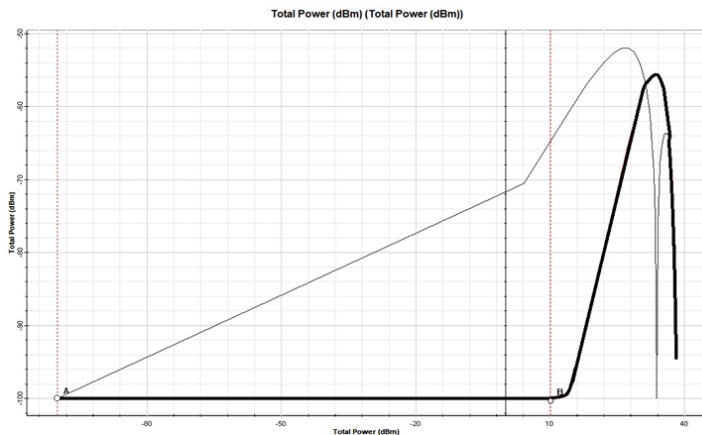


Рис. 2. Передаточная характеристика схемы с ДП ММЦ на частотах f_1 (тонкая линия) и $2f_2-f_1$ (жирная линия)

По результатам моделирования видно, что SFDR данной схемы составляет 110 дБм. Потенциально приблизиться к значению SFDR = 140 дБм можно, отказавшись от одного из генераторов в схеме.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, <https://rscf.ru/project/23-79-10059/>.

1. Кузнецов А.А. Сравнительная оценка способов формирования излучений в виде сверхзкополосного пакета дискретных частот // Инженерный вестник Дона. 2021. № 9 (81). С. 44–51.

ESTIMATION OF THE DYNAMIC RANGE OF OPTICAL DEVICES BASED ON A SCHEME WITH A TWO-PORT PARALLEL MACH-ZANDER MODULATOR

*Kuznetsov A.A., Lipatnikov K.A., Kharitonov D.Yu., Smirnov N.D.
(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The paper considers the issues of studying the linear dynamic characteristics of optical devices using the example of a computer model of a circuit with a two-port parallel Mach-Zander modulator.

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ*Жуков С.В., Топоркова Л.В.**(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)*

В школьном курсе физики мы привыкли воспринимать показатель преломления как отношение скорости света в вакууме к скорости света в среде. Это позволяет утверждать, что свет, например, в стекле, движется медленнее, чем в вакууме. Но что происходит на самом деле? На микроскопическом уровне свет не просто «замедляется» в веществе. Он взаимодействует с атомами среды, и это взаимодействие влияет на его распространение.

Чтобы понять нюансы этого процесса, необходимо разобраться в двух ключевых понятиях: скорость света и фазовая скорость. «Скорость света в вакууме» – это фундаментальная константа, обозначающая максимальную скорость распространения электромагнитного излучения. Она не зависит от среды и равна приблизительно 299 792 458 метров в секунду. «Фазовая скорость», определяющая скорость распространения фазы волны, может меняться в зависимости от среды. И именно здесь кроется причина «замедления» света в веществе. Чтобы разобраться в нюансах, рассмотрим, что происходит на микроскопическом уровне, когда свет попадает в вещество.

1. Свет, представляющий собой электромагнитную волну, взаимодействует с электронами атомов вещества. Внешнее электромагнитное поле волны приводит к колебаниям электронов в атомах.

2. Колеблющиеся электроны, в свою очередь, становятся источниками вторичного электромагнитного излучения. Это излучение имеет свою собственную фазу, которая может, как отставать, так и опережать фазу падающей волны. Важно помнить, что скорость этого вторичного излучения ограничена скоростью света в вакууме.

3. Полное электрическое поле в веществе является суперпозицией поля падающей волны и поля вторичного излучения всех атомов вещества.

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{ист}} + \sum \vec{E}_{\text{отд заряд}}$$

4. Фазовая скорость, определяющая скорость распространения фазы волны, определяется именно этой суперпозицией полей. Она может быть больше, меньше или равна скорости света в вакууме, в зависимости от свойств среды.

«Замедление» света в веществе – это результат взаимодействия света с атомами среды, а не реальное снижение скорости света. Скорость света в

вакууме – это абсолютная константа, а фазовая скорость в среде определяется суперпозицией полей и может быть различной.

Важно понимать, что «скорость света» в веществе, которую мы получаем из показателя преломления,

$$n_R^2 = 1 + \frac{Nq^2}{2\varepsilon_0 m(\omega_0^2 - \omega^2)},$$

относится к фазовой скорости, а не к скорости движения электромагнитного излучения. Другими словами, свет проходит через вещество не медленнее, а с другой фазовой скоростью, определяемой сложным взаимодействием с атомами вещества.

Представьте себе движение волны по натянутой веревке. Если веревка однородная, волна движется с постоянной скоростью. Но если в середине веревки есть узел, который будет замедлять движение волны, то ее скорость изменится. Аналогично, свет, проходя через вещество, взаимодействует с атомами, которые «замедляют» движение волны, изменяя ее фазовую скорость.

1. Фейнман Р., Лейтон Р., Сендс М. Электричество и магнетизм. М.: АСТ, 2019. Т. 3. 304 с.

THE PHYSICAL NATURE OF THE REFRACTIVE INDEX

Zhukov S.V., Toporkova L.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Conditions for the passage of light through an optically dense medium are considered, taking into account the interaction of an electromagnetic wave with atoms of a substance.

СЕКЦИЯ 8

КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

ГЕТЕРОДИННОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ С ПОВТОРНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ В СХЕМЕ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ ДЛЯ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА НА НЕПРЕРЫВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Филипов И.М.^{1,2}, Чистяков В.В.¹, Егоров В.И.^{1,2}

(¹Университет ИТМО, ²ООО «СМАРТС-Кванттелеком»)

Протоколы квантового распределения ключа (КРК) можно разделить на протоколы на дискретных переменных и непрерывных переменных. В последнем случае для детектирования квантовых состояний используются гомодинное и гетеродинное детектирования.

В рамках данной работы предлагается новый метод гетеродинного детектирования многомодовых когерентных состояний на боковых частотах фазово-модулированного излучения, который не имеет ограничения снизу частоты модуляции из-за спектральной фильтрации [1, 2], схема которого представлена на рис. 1. Оптическая часть схемы детектирования отличается смещением частоты электрического сигнала при повторной фазовой модуляции в блоке получателя.

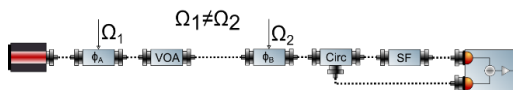


Рис. 1. Схема гетеродинного детектирования многомодовых когерентных состояний на боковых частотах фазово-модулированного излучения

Контроль промежуточной частоты детектирования осуществляется за счет изменения частоты повторной фазовой модуляции $\Delta\omega = \Omega_2 - \Omega_1$, где $\Omega(1, 2)$ – частоты фазовой модуляции на стороне отправителя и получателя, соответственно. Согласно [2] выход балансного детектора в случае гомодинного детектирования можно описать формулой $V = GE_0^2(1 - J_0^2(m))$, где G – усиление преобразования, E_0 – амплитуда поля, J_0 – функция Бесселя первого рода нулевого порядка, m – эффективный индекс модуляции.

В случае, если фаза получателя зависит от времени в виде $\varphi_B(t) = \Delta\omega t + \varphi_0$, где φ_0 – начальная фаза получателя, t – время, то эффективный индекс модуляции определяется выражением

$m(t) = \sqrt{m_a^2 + m_b^2 + 2m_a m_b \cos(\Delta\omega t - \varphi_A + \varphi_0)}$, где $m_{A,B}$ – индексы модуляции отправителя и получателя, φ_A – фаза отправителя.

На рис. 2 приведен график сравнения выходов гетеродинного детектирования для одинаковой промежуточной частоты в случае стандартного гетеродинного детектирования [3], метода на основе спектрального разделения без повторной фазовой модуляции из работ [1, 2] и предложенного метода детектирования. Совпадение результатов свидетельствует о возможности гетеродинного детектирования.

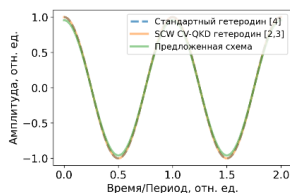


Рис. 2. Сравнение различных схем детектирования

1. Coherent Detection Schemes for Subcarrier Wave Continuous Variable Quantum Key Distribution / E. Samsonov [et al.] // Journal of the Optical Society of America B. 2021. Vol. 38, no. 7. P. 2215–2222.

2. Heterodyne-based subcarrier wave quantum cryptography under the chromatic dispersion impact / R.K. Goncharov [et al.] // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics. 2021. Vol. 12, no. 2. P. 161–166.

3. Experimental demonstration of phase-sensitive multimode continuous variable quantum key distribution with improved secure key rate / Z. Su [et al.] // Photonics Research. 2023. Vol. 11, no. 11. P. 1861–1869.

HETERODYNE DETECTION FOR SUBCARRIER WAVE CONTINUOUS VARIABLE QUANTUM KEY DISTRIBUTION BASED ON RECEIVER'S SIDE PHASE MODULATION

*Filipov I.M.^{1,2}, Chistyakov V.V.¹, Egorov V.I.^{1,2}
(¹ITMO University, ²SMARTS-Quanttelecom)*

Method for heterodyne detection of multimode coherent states at the side frequencies of phase-modulated radiation for subcarrier wave continuous variable quantum key distribution is proposed, which has no lower limitation on the modulation frequency due to spectral filtering. The heterodyne detection is achieved by the shift in the frequency of the electrical signal during repeated phase modulation in the receiver unit. The output of the proposed method is compared with previously existing methods of heterodyne detection of multimode coherent states.

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ОСНОВАМ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ В СПбГУТ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА

Бразовский Г.Р.¹, Бурдин А.В.^{1,2,3}, Былина М.С.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,

²Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, ³Научно-производственное объединение государственный оптический институт им. С.И. Вавилова)

Квантовые технологии нашли широкое применение в инфокоммуникациях. Системы квантового распределения ключей шифрования (КРК) позволяют многократно повысить защищенность передаваемой по сетям связи информации от злоумышленников. Подготовка кадров для создания и эксплуатации систем КРК является важной задачей. Однако создание физических лабораторий для изучения квантовых явлений затруднено высокой стоимостью и малой доступностью оборудования [1]. Виртуальная лаборатория является альтернативой для проведения лабораторного практикума.

Виртуальная лаборатория представляет собой программное обеспечение, симулирующее работу интерферометра Маха-Цендера (ИМЦ) (Рис. 1). Свет от источника излучения (ИИ) (1 или 2) через полупрозрачное зеркало (ППЗ) (3) направляется в два плеча ИМЦ, отражается от непрозрачных зеркал (НЗ) (5 и 6) и через второе ППЗ (4) попадает на два идентичных фотоприемника (ФП) (7 и 8).

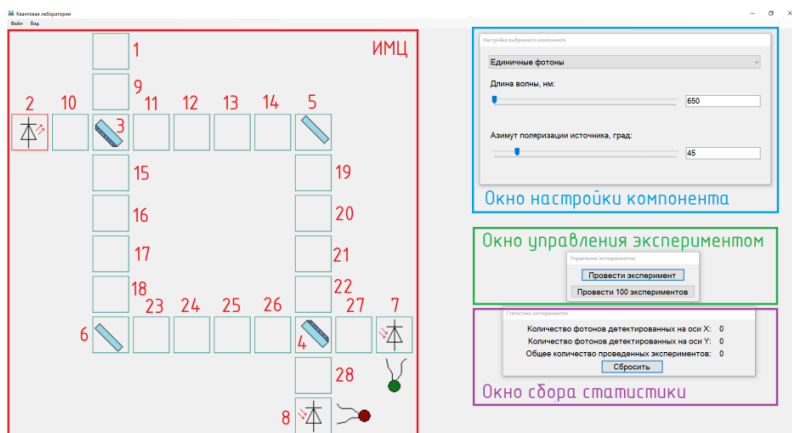


Рис. 1. Интерфейс виртуальной лабораторной установки

ИИ может испускать постоянное излучение или одиночные фотоны с длинами волн от 650 до 1650 нм и азимутом линейной поляризации от 0° до 360°. Имеется также режим генерации классических частиц, который используется для демонстрации различий между квантовым и классическим поведением фотонов. Тип ФП автоматически выбирается в соответствии с типом ИИ.

Для проведения исследований в плечи ИМЦ могут устанавливаться фильтры (Ф), фазовращатели (ФВ), поляризаторы (П) и ячейки Фарадея (ЯФ). Параметры каждого компонента настраиваются независимо от остальных. Для Ф задается полоса поглощения в диапазоне от 650 до 1650 нм. Для ФВ – вносимая фазовая задержка от 0 до 2 π . Настройка П производится путем задания азимута оси пропускания от 0° до 360°. Угол поворота поляризации в ЯФ можно изменять в диапазоне от 0° до 360°.

На текущий момент на базе виртуальной лаборатории реализовано 6 работ, в которых студенты выполняют теоретические расчеты и экспериментальные исследования, сопоставляют и анализируют результаты, делают выводы, закрепляя и углубляя знания по квантовой механике, ее математическому аппарату, квантовым явлениям, лежащим в основе систем КРК.

Виртуальная лаборатория внедрена в образовательный процесс Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

1. Былина М.С., Андриянин А.И., Фраз А.В. Квантовые коммуникации. Часть 1. Изучение квантовых явлений: лабораторный практикум. СПб.: СПбГУТ, 2022, 62 с.

VIRTUAL LABORATORY ON THE BASICS OF QUANTUM MECHANICS AT SPbSUT

Brazovskii G.R.¹, Bourdine A.V.^{1,2,3}, Bylina M.S.¹

(¹The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, ²Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, ³Scientific Production Association State Optical Institute named after Vavilov S.I.)

The creation of physical laboratories for the study of quantum Effects is hampered by the high cost and low availability of the necessary equipment. The virtual laboratory presented in this paper is an alternative for conducting a laboratory workshop.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ СМЕШАННОЙ ТОПОЛОГИИ

Сантьев А.А.

(ООО «СМАРТС-Кванттелеком»)

В настоящий момент ведется множество проектов, направленных на развитие магистральных, региональных и локальных сетей квантового распределения ключей (далее – сетей КРК) различного масштаба и топологий. Архитектура сетей КРК предполагает наличие в их составе различного оборудования, в том числе систем квантового распределения ключей (систем КРК), средств криптографической защиты информации (СКЗИ), вспомогательного каналобразующего сетевого оборудования, в том числе сетевых коммутаторов и маршрутизаторов. При разработке отдельных пилотных участков сетей КРК и их эксплуатации необходимость внесения ручных действий при управлении не является существенной проблемой – число параметров мониторинга будет возрастать при масштабировании данной технологии и появлении большего числа участков сетей КРК.

При такой конфигурации развития сегментов сетей и резком увеличении числа абонентов невозможно осуществлять ручной контроль параметров функционирования всего оборудования, в том числе непривычного и неиспользуемого ранее квантового оборудования (систем КРК), от которого зависит качество предоставления конечных сервисов и услуг.

В мировом научном сообществе тематика применения технологии программно-конфигурируемых сетей (ПКС) является широко распространенной и исследуемой, при этом основной импульс развития она получила в последние годы после выхода целой серии стандартов о применении данной технологии в рамках деятельности комитетов по стандартизации, входящих в состав Европейского института телекоммуникационных стандартов (ETSI) [1].

Среди ключевых научных центров развития данной технологии можно выделить лабораторию «Информационной фотоники и оптической связи» в Пекинском университете почты и телекоммуникаций [2], а также исследовательское подразделение компании SK Telekom [3].

Актуальной научной задачей является разработка подходов по интеграции технологии ПКС в задачи управления сетями КРК с учетом особенностей отечественных криптографических алгоритмов, применяемых во входящих в состав квантовой сети систем КРК и средствах криптографической защиты информации (СКЗИ), а также с

учетом отечественных подходов к проектированию и функционированию сетей КРК, которые имеют ряд концептуальных отличий от мировых решений. В Российской Федерации группой исследователей из Университета ИТМО уже проводились предварительные научно-исследовательские работы, направленные на оценку возможности применения технологии ПКС для задач управления сетями КРК на основе систем квантового распределения ключей на боковых частотах фазомодулированного излучения [4]. Однако данные исследования требуют дальнейшего развития, расширения и адаптации под современные принципы построения квантовых сетей и их архитектурные особенности.

1. ETSI GS QKD 015 v 2.1.1 (2022-04) Quantum Key Distribution (QKD); Control Interface for Software Defined Networks [Электронный ресурс] / URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/63881/64bf13aa3e5e46669a4baf93285c336d/ETSI-GS-QKD-015-V2-1-1-2022-04-.pdf> (дата обращения: 01.09.2024).

2. SDQaaS: Software Defined Networking for Quantum Key Distribution as a Service / Y. Cao [et al.] // Optics express. 2019. Vol. 27, no. 5. P. 6892–6909.

Sim D.H., Shin J., Kim M.H. Software-Defined Networking Orchestration for Interoperable Key Management of Quantum Key Distribution Networks // Entropy. 2023. Vol. 25, no. 6. P. 943. DOI: 10.3390/e25060943

3. Software-defined subcarrier wave quantum networking operated by OpenFlow protocol / V.V. Chistyakov [et al.] [Электронный ресурс] / URL: https://www.researchgate.net/publication/320055329_Software-defined_subcarrier_wave_quantum_networking_operated_by_OpenFlow_protocol (дата обращения: 10.10.2024).

KEY ISSUES IN DEVELOPING QUANTUM KEY DISTRIBUTION NETWORK OF MIXED TOPOLOGY

Santev A.A.

(SMARTS – Quanttelecom)

The work considers key issues in developing quantum key distribution networks of mixed topology related to the automation of tasks in the administration of devices that are part of them. In particular, the possibility of applying software-defined networks for tasks related to the management of the quantum distribution of keys and means of cryptographic information protection is considered.

ПРИРОДА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ЗАКОНА КУЛОНА, ИСХОДЯ ИЗ ФИТОННОЙ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО ВАКУУМА

Жуков С.В., Топоркова Л.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Согласно модели А.Е. Акимова, физический вакуум состоит из свертков. круговых волн электронов и позитронов. Эти элементы имеют нулевые заряды, спины и массы. В невозбужденном состоянии спины электрона и позитрона противоположны. Суммарная масса равна нулю по закону. Такую систему называли, фитоном [1].

Помещенный электрический заряд в систему фитонов возникнет зарядовая поляризация фитонов. Без заряда ориентация векторов поляризации фитонов произвольна. Заряд приводит к выстраиванию электрон-позитронных пар в определенном направлении. Чем больше заряд, тем большая анизотропия возникает в фитонной структуре. На помещенный в физический вакуум другой заряд будет действовать поляризованная фитонная структура, это и есть проявление электрического поля.

Рассмотрим с точки зрения фитонной модели следствие из хорошо известного закона Кулона:

$$\vec{E} = K \frac{q}{r^3} \vec{r}.$$

Здесь: \vec{E} – напряженность электростатического поля вблизи точечного заряда q , r – расстояние от заряда, K – коэффициент пропорциональности, связывающий причину – заряды и следствие – напряженность поля. Он и должен отражать, исходя из фитонной модели, связь между зарядовой поляризацией фитонов и электростатическим полем. Преобразуем размерность K :

$$K \left(\frac{m}{\Phi} = \frac{mB}{Kl} = \frac{m^2 E}{Kl} = \frac{E}{Kl/m^2} = \frac{E}{\sigma_{фит}} \right),$$

где следующие размерности: m – длина, Φ – емкость, B – разность потенциалов, Kl – заряд, E – напряженность электростатического поля, $\sigma_{фит}$ – поляризационный фитонный заряд.

Оценим уровень поляризации фитонных структур, учитывая, что K порядка $9 \cdot 10$ м/Ф. Так при напряженности внутреннего поля на уровне атома, когда поляризация электрон-позитронной пары не происходит порядка 10^{11} В/м поверхностная плотность поляризационного заряда

порядка Кл/м². При критической напряженности внутреннего поля рассчитанной Швингером, когда фотон распадается на пару электрон-позитрон, порядка 10¹⁸ В/м критическая плотность заряда порядка 10⁸ Кл/м².

Таким образом, постоянная в законе Кулона, исходя из фитонной модели, связывает внутреннюю напряженность поля, плотность поляризационного заряда фитонов вблизи электрического заряда и напряженность электростатического поля на расстоянии r от заряда.

1. Акимов А.Е., Тарасенко В.Я., Толмачев С.Ю. Торсионная связь – новая физическая основа для систем передачи информации // Электросвязь. 2001. № 5. [Электронный ресурс] / URL: http://www.x-libri.ru/elib/smi__359/00000001.htm (дата обращения: 06.09.2024)

THE NATURE OF ELECTROSTATIC INTERACTION BASED ON ANALYSIS COULON'S LAW BASED ON PHYTONIC MODEL OF PHYSICAL VACUUM

Zhukov S.V., Toporkova L.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the problem of electrostatic interaction based on the classical model, based on the phytionic model. The process of polarization of the phytone system has been studied and the level of polarization of phytone structures has been estimated.

ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА НА РАБОТУ СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ

Богданова Е.И., Дашков М.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Одним из наиболее перспективных способов обеспечения безопасной передачи информации является применение систем квантового распределения ключей (КРК). Подобные системы получают распространение на сетях связи в РФ и за рубежом. При этом для организации квантового канала могут использоваться как волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС), так и свободное пространство.

В процессе эксплуатации систем КРК на ВОЛС одним из факторов, влияющих на производительность, является вариация затухания оптического тракта. Прирост затухания может быть вызван как локальными, так и распределенными изменениями коэффициента затухания вследствие микро- и макроизгибов оптического волокна (ОВ) в результате совокупного действия различных температурных и механических факторов. Изменение затухания оптического тракта будет оказывать значительное влияние на такие параметры производительности систем КРК, как скорость генерации ключа и коэффициент квантовых ошибок *QBER*. При превышении *QBER* некоторого порогового значения (например, для протокола *BB84* пороговое значение составляет 11%) не может гарантироваться безопасность сгенерированного ключа.

Таким образом, при инсталляции систем КРК на действующих ВОЛС представляется актуальным оценивание влияния возможных вариаций затухания на значение *QBER* и определение предельно допустимых параметров оптического тракта с их учетом.

Расчет *QBER* для системы КРК на боковых частотах модулированного излучения производится по формуле [1]:

$$QBER = \frac{1-V}{2} + \frac{p}{4 \cdot \mu \cdot \eta \cdot 10^{\frac{-\alpha \cdot L - \beta}{10}}},$$

где V – видность интерференционной картины; β – потери в модуле Боба, дБ; p – вероятность темнового счета на бит; α – коэффициент затухания ОВ, дБ/км; L – длина ОВ, км; η – эффективность детектирования; μ – общее число фотонов в квантовом канале.

Тогда, заменяя αL на суммарное затухание оптического тракта A , выразим изменение $\delta QBER$ при вариации затухания на δA :

$$\delta QBER = \frac{p \cdot 10^{10}}{4 \cdot \mu \cdot \eta} \cdot \frac{\ln(10)}{10} \cdot 10^{\left(\frac{A}{10}\right)} \cdot \delta A.$$

На рис. 1 приведены результаты расчетов для характеристик системы КПК и ее компонент, представленных в работе [1].

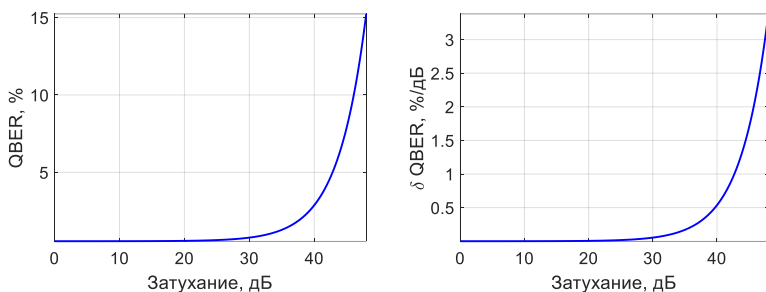


Рис. 1. Зависимость $QBER$ от затухания оптического тракта

Полученные зависимости позволяют определить для заданного критического значения $QBER$ максимально допустимое номинальное затухание в оптическом тракте, а, следовательно, и его протяженность, с учетом возможных вариаций суммарного затухания.

1. Secure Polarization-Independent Subcarrier Quantum Key Distribution in Optical Fiber Channel Using BB84 Protocol with a Strong Reference / A.V. Gleim [et al.] // Optics Express. 2016. Vol. 24, no. 3. P. 2619–2633.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CHANGES IN OPTICAL PATH ATTENUATION ON THE PERFORMANCE OF A QUANTUM KEY DISTRIBUTION SYSTEM

Bogdanova E.I., Dashkov M.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

One of the most promising ways to ensure secure information transmission is the use of quantum key distribution systems. Such systems are spreading on communication networks in Russia and abroad. Both fiber-optic communication lines and free space can be used to organize a quantum channel.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТКВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ

Бедняк С.Г., Саксутдинова З.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Квантовые компьютеры, использующие принципы квантовой механики, обладают потенциалом для решения задач, которые считаются неразрешимыми для классических компьютеров. Алгоритм Шора, разработанный для квантовых компьютеров, способен решать задачи факторизации и дискретного логарифмирования экспоненциально быстрее, чем лучшие известные классические алгоритмы. Это означает, что квантовые компьютеры, обладающие достаточной вычислительной мощностью, смогут взломать широко используемые сегодня криптографические системы [1].

Для решения этой проблемы возникла постквантовая криптография (PQC), которая фокусируется на разработке криптографических алгоритмов, устойчивых к атакам как классических, так и квантовых компьютеров.

Вместо того чтобы полагаться на сложность факторизации или дискретного логарифмирования, PQC использует другие математические проблемы, которые, как считается, сложны для решения как классическими, так и квантовыми компьютерами.

Некоторые из основных направлений PQC:

- криптография на решетках основана на сложности решения определенных задач, связанных с решетками в многомерных пространствах. Эта область активно исследуется, и на ее основе разработано несколько многообещающих алгоритмов;

- криптография на кодах использует свойства корректирующих кодов для построения криптографических примитивов. Эта область также привлекает большое внимание исследователей;

- мультивариантная криптография основана на сложности решения систем многомерных полиномиальных уравнений. Хотя этот подход существует уже некоторое время, он по-прежнему рассматривается как перспективный вариант PQC;

- криптография на изогениях использует свойства эллиптических кривых и изогений для построения криптографических схем. Эта область сравнительно новая, но уже привлекла значительный интерес;

- хэш-based криптография использует криптографические хэш-функции для построения схем цифровой подписи. Этот подход считается достаточно зрелым и устойчивым к квантовым атакам.

PQC предлагает ряд преимуществ, таких как устойчивость к квантовым атакам и совместимость с существующей инфраструктурой безопасности. Однако у PQC есть и недостатки, такие как потенциально более низкая производительность по сравнению с традиционными алгоритмами, особенно на устройствах с ограниченными ресурсами, а также больший размер ключа.

PQC имеет широкий спектр применений, включая защиту конфиденциальных данных, таких как медицинские записи, финансовые транзакции и государственные секреты. PQC также может использоваться для защиты критически важной инфраструктуры, такой как энергосистемы, транспортные сети и системы связи.

Квантовые компьютеры угрожают взломать существующие криптографические системы, а квантовая криптография предлагает новые методы защиты, способные противостоять квантовым атакам. Развитие квантовых компьютеров и квантовой криптографии подталкивает к развитию новых технологий и стимулирует постоянные инновации в сфере кибербезопасности [2].

Развитие квантовых вычислений приводит к серьезным вызовам для традиционных методов шифрования и безопасности данных, делая постквантовую криптографию необходимой областью исследований.

1. Кравченко В.О., Черкесова Л.В. Обзор постквантовых криптографических алгоритмов // Аллея науки. 2019. Т. 3, №. 1. С. 966–974.

2. Гавриков И. В. Постквантовая криптография-перспективное направление развития информационной безопасности // Проблемы информационной безопасности: материалы VI Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Симферополь, 2020. С. 123–124.

APPLICATION OF POST-QUANTUM CRYPTOGRAPHY

Bednyak S.G., Saksutdinova Z.C.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Quantum computers, Using the principles of quantum mechanics, They have the capacity to solve problems, which are considered insoluble for classical computers. Postquantum cryptography (PQC) focuses on the development of cryptographic algorithms, Resilient to attacks as classics, as well as quantum computers. The development of quantum computing leads to serious challenges for traditional methods of encryption and data security, Making Post-Quantum Cryptography a Necessary Area of Research.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА

Прапорщиков Д.Е.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время квантовые технологии являются одним из приоритетных направлений технического развития в России. Практическая реализация квантовых технологий осуществляется по нескольким векторам, одним из которых является направление «квантовые коммуникации и квантовая криптография» [1]. Основная задача данного направления заключается в безопасном распределении секретного ключа между абонентами сети посредством открытой (другими словами, незащищенной) линии связи. Такие технологии получили название квантовое распределение ключа (КРК).

Наилучшей направляющей средой с точки зрения скорости формирования ключей и дальности передачи для таких систем являются волоконно-оптические линии на основе стандартного одномодового оптического волокна. На рис. 1 приведен один из вариантов построения волоконно-оптической системы КРК [2, 3].

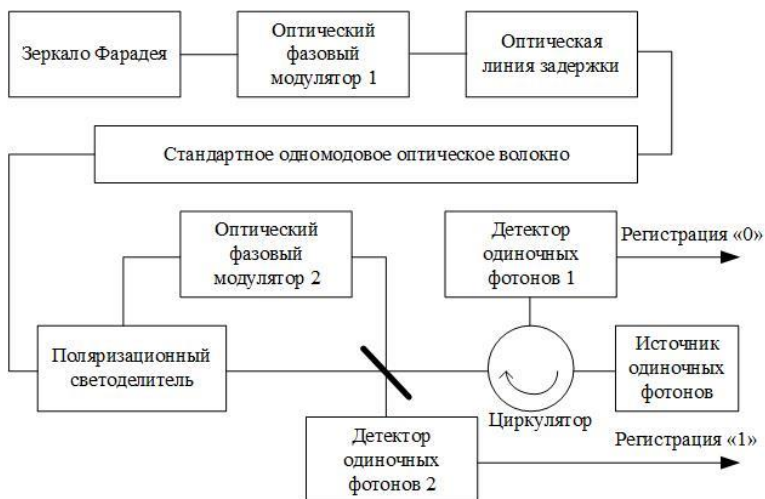


Рис. 1. Схема волоконно-оптической системы КРК с фазовым кодированием состояний фотонов

В докладе рассматриваются особенности функционального назначения волоконно-оптических компонентов, применяемых для построения систем квантового распределения ключа на примере системы с фазовым кодированием состояний фотонов.

1. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Квантовые технологии» [Электронный ресурс] / URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019kvantuyi.pdf> (дата обращения: 22.09.2024).

2. Румянцев К.Е. Квантовые технологии в телекоммуникационных системах: учебник. Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2021. 346 с.

3. Введение в оптические и квантовые коммуникации: учебное пособие / А.Р. Бестугин [и др.]. СПб.: ГУАП, 2024. 140 с.

BUILDING FEATURES OF THE FIBER OPTIC QUANTUM KEY DISTRIBUTION SYSTEMS

Praporshchikov D.E.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The report examines the features of the functional purpose of fiber optic components used to build quantum key distribution systems using the phase coding of photon states.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ОЦЕНКИ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ КВАНТОВОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА**

Дашков М.В., Богданова Е.И.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Системы квантового распределения ключа (КРК) являются наиболее надежным способом обеспечения защищенной передачи конфиденциальной информации. В настоящее время наблюдается интенсивное развитие проектов по практической реализации квантовых коммуникаций на основе существующих волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). При этом необходимо учитывать специфику реальных параметров оптического тракта и их зависимость от внешних воздействий на оптический кабель (ОК), возникающих в процессе эксплуатации.

Одним из факторов, который может оказывать влияние на работу систем КРК, является вариация двулучепреломления и процесса взаимодействия поляризационных мод в оптическом волокне (ОВ). В результате состояние поляризации оптического излучения в тракте изменяется произвольным образом. Для обеспечения практических требуемых показателей производительности КРК требуется разработка мер по компенсации данных вариаций.

Таким образом, для целей проектирования КРК представляет интерес моделирование вариации поляризационных характеристик ОВ, достоверно учитывающее процессы в реальных ВОЛС.

В основе математической модели оптического тракта лежит кусочно-регулярное представление в виде последовательного соединения двулучепреломляющих элементов ОВ с заданной фазовой задержкой и элементов поворота главных оптических осей. Для описания элементов применяется формализм Джонса.

Для обеспечения характера вариаций, приближенных к реальным, при определении исходных данных для моделирования были использованы результаты экспериментальных исследований [1] и полевых измерений.

В докладе представлены результаты анализа долговременных измерений вариации состояния поляризации, выполненных на полигоне ВОЛС, и распределенный анализ вариации двулучепреломления ОВ в ОК при температурных колебаниях.

1. Attenuation Distribution Changes of Optical Fiber in Cable at Cyclic Temperature Variations / M.V. Dashkov [et al.] // Optical Technologies for Telecommunications 2022:

**MODELING VARIATIONS IN THE POLARIZATION
CHARACTERISTICS OF OPTICAL FIBER FOR QUANTUM KEY
DISTRIBUTION SYSTEM PERFORMANCE EVALUATION**

Dashkov M.V., Bogdanova E.I.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

For the tasks of designing quantum key distribution systems it is of interest to model the change of polarization characteristics of the optical path that takes into account the processes on real fiber optical communication lines under various influences. The mathematical model of the optical path is based on a piecewise regular representation in the form of a sequential connection of birefringent elements of the optical path with a given phase delay and rotation elements of the main optical axes. To ensure the character of variations close to the real one, the results of experimental studies [1] and field measurements were used in determining the initial data for modeling.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ 6

**К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУНКЦИИ ЧИРПА
ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ В ОПТИЧЕСКОМ КАНАЛЕ
СИСТЕМ СВЯЗИ..... 8**

Виноградова И.Л., Головина Е.Ю.

**МЕТОД ДВУХ ВОЛОКОН И ЕГО МОДЕРНИЗАЦИЯ.
ПОЛНОЕ РЕШЕНИЕ ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ,
ОПРЕДЕЛЕННОЙ ПРИРОДОЙ ВОЛОКОННОЙ
БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ..... 10**

*Морозов О.Г., Артемьев В.И., Белов Э.В., Бурдин А.В.,
Дукельский К.В., Твари М.*

**ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
И КВАНТОВАЯ СЕНСОРИКА 14**

Гребешков А.Ю.

**СЕКЦИЯ 1 ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ 16**

**ПРИМЕНЕНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ
ЭЛЕМЕНТОВ В АДАПТИВНЫХ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ..... 18**

Мурзин С.П., Казанский Н.Л.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ
В ЦЕПОЧКАХ ЭРБИЕВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ..... 20**

*Никифоров Д.Д., Самоделкин Л.А., Старых Д.Д.,
Наний О.Е., Трещиков В.Н.*

ПУЧКИ ПУАНКАРЕ В ОСТРОМ ФОКУСЕ
И ИХ ХИРАЛЬНОСТЬ 22
Стафеев С.С., Зайцев В.Д., Котляр В.В.

НАКОПЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ШУМОВ В КОГЕРЕНТНЫХ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ..... 24
Самоделкин Л.А., Старых Д.Д., Наний О.Е., Трещиков В.Н.

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ЗАРЯД СУПЕРПОЗИЦИИ
ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ВИДЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ
ПРОГРЕССИИ В ТУРБУЛЕНТНОЙ СРЕДЕ 26
Шилов Д.О., Козлова Е.С.

НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МАСОК В ЗАДАЧАХ
ОСТРОЙ ФОКУСИРОВКИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
С НЕОДНОРОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ 28
Калашников Д.Ю., Стафеев С.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСОВ РЕФЛЕКТОМЕТРА
НА КОГЕРЕНТНЫЕ DWDM КАНАЛЫ..... 30
*Якушин И.К., Ремизова А.С., Самоделкин Л.А.,
Старых Д.Д., Наний О.Е., Трещиков В.Н.*

НОВЫЕ ВИХРЕВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ПУЧКИ: ПУЧКИ БЕССЕЛЬ-
БЕССЕЛЬ-ГАУССА 32
*Котляр В.В., Абрамочкин Е.Г., Ковалев А.А.,
Стафеев С.С., Козлова Е.С.*

**СЕКЦИЯ 2 ПАССИВНЫЕ И АКТИВНЫЕ
ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ВОЛОКОННО-
ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ И
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
СИСТЕМ 34**

СУПЕРСТРУКТУРИРОВАННЫЕ АДРЕСНЫЕ ВОЛОКОННЫЕ
БРЭГГОВСКИЕ СТРУКТУРЫ КАК МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ
МНОГОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 36

Валеев Б.И., Сахабутдинов А.Ж.

ДЕЙСТВИЕ ОБОБЩЁННОЙ СПИРАЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ
ПЛАСТИНКИ С НЕМОНОТОННОЙ УГЛОВОЙ
ЗАВИСИМОСТЬЮ ФАЗЫ..... 38

Устинов А.В., Логачев В.И., Хонина С.Н.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДВУХ
ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СЕНСОРАХ НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ
ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР 40

Белов Э.В., Морозов О.Г., Нуреев И.И.

ИСПЫТАНИЕ МОДЕЛИ КОРПУСА ИНТЕРФЕРОМЕТРА
ФАБРИ-ПЕРО 41

*Смирнов Н.Д., Липатников К.А., Сахабутдинов А.Ж.,
Харитонов Д.Ю.*

ПУСТОТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ – ПЕРО КАК
ИНСТРУМЕНТ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА..... 43

Валеев Б.И., Аглиуллин Т.А.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДОВОГО АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННОГО
ОБРАЗЦА МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО
ВОЛОКОНА С РАВНОУГОЛЬНОЙ СПИРАЛЬНОЙ
ШЕСТИЛУЧЕВОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ 45

Евтушенко А.С., Бурдин А.В., Дашков М.В.

ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ПОРЯДКОВ МОДЫ ПО ИСКАЖЕННОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ
РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ В ОПТИЧЕСКИХ
ВОЛОКНАХ..... 47

Евтушенко А.С., Белов М.С., Бурдин А.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА
ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗ ДВУХ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ
ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР..... 49

Белов Э.В., Морозов О.Г., Нуреев И.И.

РЕГИСТРАЦИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В
ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА 50

Дашков М.В., Никулина Т.Г., Евтушенко А.С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПУЧКА ИСТОЧНИКА
БЕЛОГО СВЕТА В ДАЛЬНОМ ПОЛЕ НА ВЫХОДЕ
КВАРЦЕВЫХ 6-СЕРДЦЕВИННЫХ
МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ
ВОЛОКОН С НАВЕДЕННОЙ ЗАКРУТКОЙ РАЗНОЙ
ИНТЕНСИВНОСТИ..... 52

*Бурдин А.В., Дашков М.В., Евтушенко А.С., Никулина Т.В.,
Барашкин А.Ю., Зайцева Е.С., Бородинов А.С., Пашин С.С.,
Дукельский К.В.*

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ
РАЗДАВЛИВАЮЩЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА МАЛОМОДОВОЕ
ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО..... 54

*Зайцева Е.С., Прапорщиков Д.Е., Волков К.А., Комар М.В.,
Слепогин А.Ю., Пашин С.С., Хаджаев М.С., Бурдин А.В.*

ГАРМОНИЗАЦИЯ РОССИЙСКИХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ
НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКИХ
ВОЛОКОН И КАБЕЛЕЙ 56

Попов Б.В., Попов В.Б.

ВИЗУАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ
РАЗЪЕМОВ..... 57

Волков К.А., Гадзиковский С.Д.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ
И ДЕФОРМАЦИИ НА ДВУХ ВОЛОКНАХ
НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ ВОЛОКОННЫХ
БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР 59

Белов Э.В., Морозов О.Г., Нуреев И.И.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
КВАРЦЕВЫХ 6-СЕРДЦЕВИННЫХ
МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН
С НАВЕДЕННОЙ ЗАКРУТКОЙ И
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ
ВОЛОКОН..... 60

*Бурдин А.В., Дашков М.В., Евтушенко А.С., Сачук К.П.,
Хаджаев М.С., Зайцева Е.С., Демидов В.В.,
Тер-Нерсесянц Е.В., Дукельский К.В.*

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ
НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ
В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ..... 62

Дашков М.В., Никулина Т.Г., Евтушенко А.С.

МЕТОД УДАЛЕНИЯ ЗАЩИТНО-УПРОЧНЯЮЩЕГО
ПОКРЫТИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ С
ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ 64

Евтушенко А.С., Дашков М.В., Никулина Т.Г., Зайцева Е.С.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНФИГУРАЦИИ
МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ
ВОЛОКОН, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ
НА МОДАХ УГЛОВЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ МОМЕНТОВ..... 66

*Никулина Т.В., Евтушенко А.С., Барашкин А.Ю., Беляев А.А.,
Бурдин А.В.*

ВЫБОР МЕТОДА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА С УДАЛЕННЫМ ЗАЩИТНЫМ УПРОЧНЯЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ..... 68

Дашков М.В., Никулина Т.Г., Евтушенко А.С.

ВОПРОСЫ ВЫБОРА МЕТОДИКИ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА 70

Никулина Т.Г., Ревизов И.В.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОРПУСА ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО 72

Смирнов Н.Д., Липатников К.А., Сахабутдинов А.Ж., Харитонов Д.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТИ ШПД ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ЗАСТРОЙКИ 74

Яблочкин К.А., Воропаев А.Ю., Волков И.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ 75

Яблочкин К.А., Воропаев А.Ю., Волков И.С.

СЕКЦИЯ 3 ОБРАБОТКА ОДНОМЕРНЫХ И МНОГОМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ 76

СУПЕРПОЗИЦИИ ФУНКЦИЙ ЦЕРНИКЕ С ОСОБЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ..... 78

Волотовский С.Г., Дзюба А.П., Хорин П.А., Хонина С.Н.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВЕКТОРНЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ С НЕОДНОРОДНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ С ПОМОЩЬЮ ОРБИТАЛЬНОГО УГЛОВОГО МОМЕНТА ПОЛЯРИЗАЦИИ..... 80

Ковалёв А.А., Котляр В.В.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПТОВОЛОКОННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДАТЧИКОВ.....	82
<i>Никитин Н.В., Харасов Д.Р., Бенгальский Д.М., Трещников В.Н.</i>	
МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ АВТОМОБИЛЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВТОПОЛИГОНОМ	84
<i>Попов С.Б.</i>	
ОСОБЕННОСТИ ДИФРАКЦИИ ГАУССОВЫХ ПУЧКОВ И ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ НА МАССИВАХ ТОЧЕЧНЫХ СУБВОЛНОВЫХ МИКРОСТРУКТУР	86
<i>Савельев Д.А.</i>	
MACHINE LEARNING ARCHITECTURES FOR EFFECTIVE CLASSIFICATION AND PROCESSING OF ONE-DIMENSIONAL OPTICAL SIGNALS	88
<i>Khastiev S.R, Makarov R.A., Sakhabutdinov A.Zh.</i>	
ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ФОТОННОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ДВУХДИАПАЗОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ С ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМ ИСТОЧНИКОМ.....	90
<i>Степанов И.В., Любопытов В.С., Грахова Е.П.</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СЕНСОРИКИ.....	92
<i>Макаров Р.А., Валеев Б.И., Хастиев Ш.Р., Сахабутдинов А.Ж.</i>	
ВЛИЯНИЕ ВОЛНОВЫХ АБЕРРАЦИЙ НА КАРТИНУ ДИФРАКЦИИ БИНАРНОГО АКЦИКОНА.....	94
<i>Серафимович Д.П., Хорин П.А., Хонина С.Н.</i>	

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕПАРАКСИАЛЬНОГО
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПУЧКОВ СФОРМИРОВАННЫХ
ВИХРЕВЫМИ ДИФРАКЦИОННЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ
ЭЛЕМЕНТАМИ..... 96

Дюкарева О.А., Порфирьев А.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ СРЕД
НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПУЧКОВ ЛАГЕРРА-ГАУССА
В КВАДРАТЕ..... 98

Савельева А.А., Козлова Е.С., Котляр В.В.

МЕТОДЫ ПОИСКА ОСОБЕННОСТЕЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВНУТРЕННЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ..... 100

Куляс О.Л., Лошкарев А.С.

ПРОБЛЕМЫ СОВМЕЩЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО
ЗРЕНИЯ..... 102

Диязитдинов Р.Р., Васин Н.Н.

ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ
ПРОЕКЦИЙ 104

Диязитдинов Р.Р.

СИСТЕМА СИМПЛЕКСНОЙ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОПТОВОЛОКОННОМ
КАНАЛЕ..... 106

Дашков М.В., Гуреев В.О., Евтушенко А.С.

ИНТЕРАКТИВНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ФЕРУЛ
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ
ЗАГРЯЗНЕННОСТИ 107

Диязитдинова А.А.

ПРОБЛЕМАТИКА ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ..... 109
Куляс О.Л., Лошкарев А.С., Никитин К.А., Назаренко П.А.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ОТКЛИКОВ
ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА
ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ 111
*Губарева О.Ю., Дашков М.В., Гуреев В.О.,
Евтушенко А.С., Макаров И.С.*

**СЕКЦИЯ 4 ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ, КОНТРОЛЬ И
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
СВЯЗИ 114**

ФАКТОР СЕЗОННОСТИ В АНАЛИЗЕ ЧАСТОТЫ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ
ОБСЛУЖИВАНИИ СИСТЕМ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ 116
Евстафьева В.А., Симагина С.Г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СРАЩИВАНИЯ
ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В УСЛОВИЯХ
СОВРЕМЕННОГО РЫНКА 118
*Гаврюшин С.А., Лиманский Н.С., Евтушенко А.С.,
Алехин И.Н., Андреев Р.В.*

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОКЛАДКИ ВОЛОКОННО-
ОПТИЧЕСКИХ МИКРОКАБЕЛЕЙ В МИКРОТРУБКИ 120
Попов Б.В., Попов В.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО
ВОЛОКНА МЕТОДА СНЯТИЯ ЗАЩИТНОГО
УПРОЧНЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ 121
Дашков М.В., Никулина Т.Г., Евтушенко А.С.

**СЕКЦИЯ 5 ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ
СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ
СВЯЗИ 124**

ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ И СПОРТИВНОЙ ИНЖЕНЕРИИ
КАК ФУНДАМЕНТ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ..... 126

*Алибаев Т.Л., Васюк В.Е., Кузнецов А.А., Нуреев И.И.,
Морозов О.Г., Юсупов Р.А.*

РАЗВИТИЕ НАДПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ НАВЫКОВ РАБОТЫ
С СОЦИАЛЬНЫМИ ЗАКАЗАМИ В ПРОЦЕССЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ
В ОБЛАСТИ ОПТОИНФОРМАТИКИ И ФОТониКИ..... 128

Матвеева Т.Ю., Осадчий И.С., Хуснутдинова М.Н.

ЦИФРОВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ В ПОДГОТОВКЕ
СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКИХ
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И СИСТЕМ СВЯЗИ..... 130

Сережкина А.Е., Осадчий И.С.

ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ
ВЫПУСКНИКОВ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ
НАПРАВЛЕННОСТИ 132

Доброжанская В.А., Салмин А.А., Петуганов Т.А.

ИНТЕРАКТИВНЫЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В
ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ 134

Симагина С.Г., Матвеева Е.А., Черных О.Н.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ 136

Иванов В.И.

О МЕТОДЕ ВНЕДРЕНИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС
ЭЛЕМЕНТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ
СТУДЕНТАМ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ
И СИСТЕМЫ СВЯЗИ» 137

*Алашеева Е.А., Журавлева Е.А., Сальникова Д.А.,
Чуйкова Н.А.*

МОДЕЛЬ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ЦИКЛА БУДУЩИМ СПЕЦИАЛИСТАМ
В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ
ИНТЕНСИВНОГО ПРОДВИЖЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ..... 139

Балабаева Н.П., Энбом Е.А.

ОБ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ АКЦЕНТАХ В ПРЕПОДАВАНИИ
СТУДЕНТАМ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ
И СИСТЕМЫ СВЯЗИ» 141

Алашеева Е.А.

РОЛЬ ПОДГОТОВКИ И ПРОДВИЖЕНИЯ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТУДЕНЧЕСКОГО ПРОЕКТА
ПО ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКЕ В РАЗВИТИИ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ОБЛАСТИ
ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ 143

Балабаева Н.П., Энбом Е.А.

ВОПРОСЫ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ТЕХНОЛОГИИ
ПОДВЕСКИ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ НА ОПОРАХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ОБУЧАЮЩЕГО ПОЛИГОНА..... 145

*Никulina Т.Г., Натарова Е.П., Алехин И.Н.,
Гаврюшин С.А.*

ВЛИЯНИЕ ФОРСИРОВАННОГО ПРОДВИЖЕНИЯ
ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТЕГИЙ
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА..... 146

Балабаева Н.П., Энбом Е.А.

ПРОДУКТИВНАЯ МОДЕЛЬ РУКОВОДСТВА
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМИ ПРОЕКТАМИ ПО ПРИКЛАДНОЙ
МАТЕМАТИКЕ СТУДЕНТОВ – БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ
В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ..... 148

Балабаева Н.П., Энбом Е.А.

РЕЗУЛЬТАТИВНЫЕ СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ И
РАЗВИТИЯ АКТИВНОГО ДИВЕРГЕНТНОГО МЫШЛЕНИЯ
БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ
ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ 150

Балабаева Н.П., Энбом Е.А.

ФАКТОРЫ УСПЕШНОСТИ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
АСПЕКТА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ
СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА..... 152

Балабаева Н.П., Энбом Е.А.

СЕКЦИЯ 6 ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ 154

ПРИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОЛЬЦЕВЫХ
РЕЗОНАТОРОВ..... 156

Бакирова Л.И.

ДИЗАЙН ФОТОННОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ
ПРИЁМОПЕРЕДАТЧИКА С УПЛОТНЕНИЕМ КАНАЛОВ
ПО ОРБИТАЛЬНОМУ УГЛОВОМУ МОМЕНТУ..... 158

Степанов И.В.

СЕТИ ФИКСИРОВАННОЙ СВЯЗИ ШЕСТОГО
ПОКОЛЕНИЯ F6G 160
Росляков А.В.

**СЕКЦИЯ 7 МИКРОВОЛНОВАЯ
ФОТОНИКА..... 162**

КОМБИНИРОВАННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ
СЕНСОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ..... 164
*Каид М.Р.Т.М., Сахабутдинов А.Ж., Аглиуллин Т.А.,
Валеев Б.И., Альхуссейн А.Н.*

РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВ
ДЛЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ..... 166
Петров Н.А., Муравьев И.Ю.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РАДИОФОТОНИКИ
В СОСТАВЕ МНОГОЧАСТОТНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ
РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ 168
*Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Шукин Г.Г.,
Ростокина Е.А.*

ОЦЕНКА ФЛУКТУАЦИОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
РАДИОФОТОННЫХ РАДИОМЕТРОВ
МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА 170
*Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Шукин Г.Г.,
Ростокина Е.А.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ С РАСШИРЕННЫМ
ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ НА ОСНОВЕ
АКУСТООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА
И МОДУЛЯТОРА МАХА-ЦАНДЕРА 172
*Кузнецов А.А., Липатников К.А., Харитонов Д.Ю.,
Смирнов Н.Д.*

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХПОРТОВОГО
ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МОДУЛЯТОРА МАХА-ЦАНДЕРА
И АКУСТООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА..... 174

*Кузнецов А.А., Липатников К.А., Харитонов Д.Ю.,
Смирнов Н.Д.*

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ
ЗАДЕРЖКИ В ПЕТЛЕ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ
ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛЯТОРА
В КАЧЕСТВЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА
СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ..... 176

Иванов В.В., Степанов И.В., Воронков Г.С.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ В
ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НА ДИФРАКЦИЮ В БЛИЖНЕЙ
ЗОНЕ МИКРОАКСИКОНА 178

Сергунин С.К., Хорин П.А.

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ОПТИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ СХЕМЫ С ДВУХПОРТОВЫМ
ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ МОДУЛЯТОРОМ
МАХА-ЦАНДЕРА..... 180

*Кузнецов А.А., Липатников К.А., Харитонов Д.Ю.,
Смирнов Н.Д.*

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ПОКАЗАТЕЛЯ
ПРЕЛОМЛЕНИЯ..... 182

Жуков С.В., Топоркова Л.В.

**СЕКЦИЯ 8 КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ..... 184**

ГЕТЕРОДИННОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ С ПОВТОРНОЙ
ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ В СХЕМЕ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ
ДЛЯ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА
НА НЕПРЕРЫВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ..... 186
Филипов И.М., Чистяков В.В., Егоров В.И.

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ОСНОВАМ
КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ В СПБГУТ
ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА 188
Бразовский Г.Р., Бурдин А.В., Былина М.С.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ
КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ
СМЕШАННОЙ ТОПОЛОГИИ 190
Сантьев А.А.

ПРИРОДА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ЗАКОНА КУЛОНА ИСХОДЯ
ИЗ ФИТОННОЙ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО
ВАКУУМА..... 192
Жуков С.В., Топоркова Л.В.

ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ
ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА НА РАБОТУ СИСТЕМЫ
КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ..... 194
Богданова Е.И., Дашков М.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТКВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ..... 196
Бедняк С.Г., Саксутдинова З.С.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ВОЛОКОННО-
ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КВАНТОВОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА 198
Прапорщиков Д.Е.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ОЦЕНКИ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ КВАНТОВОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА 200

Дашков М.В., Богданова Е.И.

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ ОТТ-2024

XXII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Самара, 06 – 08 ноября 2024 г.

Статьи воспроизводятся с оригиналов, представленных авторами, и
Издатель не несет ответственности за содержание статей.
Ответственный секретарь: Губарева О.Ю.

Ответственный за выпуск: Горячкин О.В.
Компьютерная верстка: Диязитдинова А.А.

Подписано в печать 12.12.2024
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 12,85.
Заказ № 100035944
Тираж 500.

Издательство Поволжского государственного университета
телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ)

443090, Самара, Московское шоссе, 77