

УДК: 537.86, 623.465.1

*Вагенлейтнер Анастасия Олеговна*

*студентка факультета ФИТЭ*

*Копнов Даниил Вячеславович*

*студент факультета ФИТЭ*

*Сальникова Алена Игоревна*

*студентка факультета ФИТЭ*

*Ульянова Виктория Александровна*

*студентка факультета ФИТЭ*

*Пензенский государственный университет*

*г. Пенза, Российская Федерация*

**ОБЗОР ВОЗМОЖНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ  
РАДИОФОТОНИКИ В СОВРЕМЕННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ  
РАЗРАБОТКАХ**

*Аннотация:* Описаны наиболее перспективные области применения радиофотоники. Рассмотрена базовая схема построения и принцип работы радиофотонных волоконно-оптических измерительных приборов. Указаны основные преимущества данных устройств.

*Ключевые слова:* радиофотоника, волоконно-оптические системы, фотоны, СВЧ-сигналы.

*Vagenleytner Anastasia Olegovna*

*student of the faculty's FITE*

*Kopnov Daniil Vyacheslavovich*

*student of the faculty's FITE*

*Salnikova Alena Igorevna*

*student of the faculty's FITE*

*Ulyanova Viktoriya Aleksandrovna*

*student of the faculty's FITE*

*Penza State University*

*Penza, Russian Federation*

## **OVERVIEW OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF RADIO PHOTONICS IN MODERN TECHNICAL DEVICES**

***Abstract:** The most promising fields of application of radiophotonics are described. The basic scheme of construction and the principle of operation of radio-photonics fiber-optic measuring devices are considered. The main advantages of these devices are indicated.*

***Key words:** radio-photonics, fiber-optic systems, photons, microwave signals.*

Радиофотоника является гибридным направлением, изучающим проблемы передачи, приема и преобразования сигнала с помощью направленного взаимодействия оптических и сверхвысокочастотных сигналов, промодулированных радиочастотой в специализированных наноструктурах. В последние десятилетия наблюдается ее активное

развитие, благодаря чему появилась возможность создания радиочастотных устройств с параметрами, недостижимыми для традиционной электроники. Это связано с тем, что фотоны, в отличие от электронов, не имеют массы покоя и заряда, что дает эффективность и помехозащищенность обработки радиочастотных сигналов в оптическом диапазоне. Характеристики радифотонных измерительных систем и характеристики традиционных оптоволоконных измерительных приборов практически аналогичны. Следовательно, данный факт может быть использован как для создания новых измерительных средств, так и для усовершенствования уже существующих.

Рассматриваются основные преимущества, основанные на характеристиках распространяемых фотонов и на характеристиках среды распространения (кварцевое оптическое волокно).

Фундаментальные преимущества радиофотонов [2]:

1. Исходя из основных свойств носителей информации: фотон - это элементарная безмассовая частица, которая может двигаться только со скоростью света. Заряд фотона равен нулю. Это обеспечивает:

- повышенную скорость обработки сигнала (до десятков фемтосекунд ( $1 \cdot 10^{-15}$  сек));
- расширенную полосу пропускания сигнала (до терагерц).

2. Исходя из основных свойств среды распространения (кварцевое оптическое волокно) гарантируются:

- низкие потери при передаче (0,2 дБ / км) и их (почти) независимость от частоты модуляции в радиодиапазоне [5];
- расширенный рабочий диапазон частот (до 15 ТГц) [5];
- значительно лучшие массогабаритные характеристики (оптоволоконный кабель: вес 1,7 кг / км, диаметр 250 мкм; коаксиальный кабель: вес 560 кг / км, диаметр 10 мм) [5];

- нечувствительность к электромагнитным помехам: улучшает способность измерительных приборов функционировать при воздействии на них помех, увеличивает возможности устройства по защите от помех;
- Значительно лучшие характеристики фазы: стабильность фазы и согласованный прием и обработка сигнала.

В качестве реально достигнутых практических преимуществ можно назвать пример замены радиолокационных узлов на базе активных фазированных антенных решеток (АФАР) на радиофотонные [6].

Основными компонентами радиофотонной системы являются передатчик и приемник [5]. Фактически, во внешних системах модуляции передатчик представляет собой более сложное устройство, содержащее лазерный источник и модулятор в дополнение к электронным схемам управления (микропроцессору). В качестве приемников используются разные высокочастотные фотодиоды, а если необходимо определить фазу модуляции оптического сигнала, используется когерентный фотоприемник (рисунок 1).

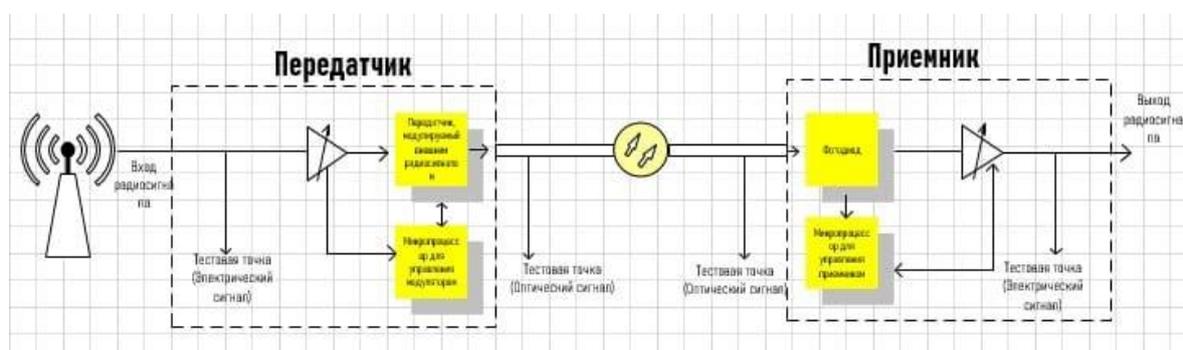


Рисунок 1 – Оптические компоненты

Наглядным примером радиофотонных систем могут служить телекоммуникационные системы, линии связи, системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ), радиолокационные системы, радиофотонные волоконно-оптические измерительные приборы (РФВОИП) [1].

Можно рассмотреть базовую схему построения РФВОИП (рисунок 2).



Рисунок 2 – Структурная схема радиофотонного волоконно–оптического измерительного прибора:  $A$  – амплитуда оптического сигнала;  $\omega$  – центральная частота оптического сигнала;  $\Omega$  – центральная частота РЧ-сигнала

Основными компонентами РФВОИП, обязательными при их создании являются:

- источник оптического излучения (ИОИ), в качестве которого используется лазер;
- оптическая система, в качестве которой используется оптическое волокно;
- модуль оптоэлектронного преобразования и электрооптический модулятор (ЭОМ).

Радиосигнал ультравысокочастотных- и сверхвысокочастотных-диапазонов поступает на ЭОМ, где преобразуется в электронно-оптический сигнал. Далее сигнал проходит через оптическую систему, которая описывается передаточной функцией  $H(\omega, \epsilon)$ , где при оказании внешнего воздействия изменяются его параметры (амплитуда, частота, фаза и т.д.) [4]. После оказанного воздействия сигнал попадает на модуль оптоэлектронного преобразования, который конвертирует его в сигнал, удобный обработки и измерений.

В большинстве случаев обработка РЧ-сигнала осуществляется с помощью прибора, который анализирует параметры радиоволны [3]. Также можно использовать другие устройства, принцип работы которых основан на одновременной демодуляции РЧ-сигнала.

В ходе рассмотрения данных волоконно–оптических измерительных приборов, целесообразно указать ряд достоинств [5]:

- небольшие размеры;
- малый вес;
- невосприимчивость к электромагнитным помехам;
- устойчивость к коррозии;
- способность осуществлять измерения по всей длине оптического волокна;
- низкий уровень фазовых шумов и др.

С этими преимуществами связано их активное применение во многих областях науки и техники за последние годы (рисунок 3) [6].

Среди областей применения радиофотоники большое количество связанных с передачей радиосигналов на большие (десятки и сотни метров или несколько километров) расстояния [1]. Самые востребованные задачи:

- Передача с минимальными потерями сигналов связи;
- Передача СВЧ-сигналов внутри крупных объектов [5];
- Системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ);
- Оптические линии задержки и обработки сигналов;
- Система калибровки радаров и РЛС;
- Фазированные антенные решетки (ФАР).



Рисунок 3 – Области применения радиофотоники

Радиофотоника является развивающимся направлением науки и техники, которое интенсивно совершенствуется в настоящее время. Достоинства данного направления позволяют создавать устройства нового поколения с исключительными функциями. Применение волоконно-оптических фотодиодных модулей в системах РЭБ и РЛС позволяет использовать оптические технологии для генерирования и анализа СВЧ-сигналов в широком частотном диапазоне, что способствует значительному уменьшению габаритов аппаратуры и повышению надежности таких приборов[1]. Малые оптические потери, невосприимчивость к электромагнитным помехам способствуют активному развитию радиофотонных технологий в различных отраслях, что позволяет модернизировать волоконно-оптические устройства.

Радиофотонные волоконно-оптические измерительные приборы обладают преимуществами оптических и радиочастотных устройств. Исходя из современных способов реализации измерительных механизмов, инженеры могут спроектировать приспособления, параметры которых не только сопоставимы с традиционными волоконно-оптическими

устройствами, но и получить более высокие точностные показатели измерительных установок. Кроме того, новейшие исследования позволяют усовершенствовать тактико-технические характеристики действующих приборов. Опираясь на вышеуказанные преимущества, можно выдвинуть гипотезу о возможной замене традиционных устройств на радиофотонные волоконно-оптические измерительные приборы в различных сферах деятельности.

Радиофотоника является перспективной наукой будущего, поэтому развитие данного направления представляет собой глобальную задачу современности.

### *Использованные источники:*

1. Белоусов А.А., Вольхин Ю.Н., Гамиловская А.В., Дубровская А.А., Тихонов Е.В. О применении методов и средств радиофотоники для обработки сигналов дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн // Прикладная фотоника. 2014. Т. 1. № 1. С. 65-86. doi: 10.15593/2411-4367/2014.1.06
2. Yao J. Microwave photonics: Optical generation and processing of microwave signals // ProlCAIT '08 Proc. of the 2008 International Conference on Advanced Infocomm Technology. 2008. P. 135. doi: 10.1145/1509315.1509450
3. Capmany J., Ortega B., Pastor D., Sales S. Discrete-time optical processing of microwave signals // Journal of Lightwave Technology. 2005. V. 23. N 2. P. 702-723. doi: 10.1109/JLT.2004.838819
4. Смит С. Цифровая обработка сигналов: практическое руководство для инженеров и научных работников. М.: Додэка XXI век, 2008. 720 с
5. Востриков Е.В., Литвинов Е.В., Волковский С.А., Алейник А.С., Польте Г.А. Применение радиофотоники в волоконно-оптических измерительных приборах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 1. № 1. С. 1–23. doi:10.17586/2226-1494-2020-20-1-1-23
6. Р. П. Быстров, С. А. Соколов, В. А. Черепенин. Системы и устройства на основе радиофотоники применительно к радиолокации. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017 №6.