

*А. А. Медведев<sup>1\*</sup>, Д. Н. Титов<sup>1</sup>*

## **Современное состояние оптических систем передачи информации**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
\* e-mail: andrey\_medvedev.01@mail.ru

**Аннотация.** Статья представляет собой обзор различных аспектов оптического волокна, волоконно-оптических сенсоров и технологии передачи данных с использованием инфракрасного диапазона световых волн. Оптическое волокно рассматривается как волновод, применяемый для передачи света, с классификацией по различным характеристикам, таким как структура, число мод, профиль показателя преломления и др. Другой раздел статьи посвящен роли оптических датчиков в различных областях. Рассматривается что такое инфракрасное излучение, методы и технологии передачи данных с помощью инфракрасного излучения. Обсуждаются принципы и возможности передачи информации с использованием инфракрасного протокола IrDA, описаны основные уровни протокола. Результаты позволяют сделать вывод о значительной роли оптических систем передачи информации в современных технологиях. Оптическое волокно и оптоволоконные датчики демонстрируют широкий спектр применений в различных областях, включая оптику, фотонику, медицинскую диагностику и мониторинг.

**Ключевые слова:** оптические волокна, оптические датчики, инфракрасная оптика, инфракрасная передача данных

*A. A. Medvedev<sup>1\*</sup>, D. N. Titov<sup>1</sup>*

## **Current state of the art of optical information transmission systems**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
\* e-mail: andrey\_medvedev.01@mail.ru

**Abstract.** The paper is an overview of various aspects of optical fiber, fiber optic sensors and data transmission technology using infrared range of light waves. Optical fiber is considered as a waveguide used for light transmission, with classification based on various characteristics such as structure, number of modes, refractive index profile, etc. Another section of the paper deals with the role of optical sensors in various fields. What is infrared radiation, methods and technologies for data transmission using infrared radiation are discussed. The principles and possibilities of information transmission using the infrared protocol IrDA are discussed, the main protocol levels are described. The results allow us to conclude about the significant role of optical information transmission systems in modern technologies. Optical fiber and fiber optic sensors demonstrate a wide range of applications in various fields including optics, photonics, medical diagnostics and monitoring. Translated with DeepL.com (free version).

**Keywords:** optical fibers, optical sensors, infrared optics, infrared data transmission

### ***Введение***

Современный мир информационных технологий стал невозможен без эффективных систем передачи данных. В этом контексте оптические системы пе-

редачи информации занимают важное место, благодаря своей высокой пропускной способности, надежности и скорости передачи.

Целью статьи является анализ современного состояния оптических систем передачи информации. Для достижения этой цели решены следующие задачи: классификация и анализ оптических волокон и волоконно-оптических датчиков, обзор методов беспроводной передачи данных на основе инфракрасного излучения с применением группы протоколов IrDA. Для достижения поставленных целей и задач использовались следующие методы исследования: анализ научной литературы и публикаций по теме исследования, систематизация и классификация полученных данных.

### ***Системы связи на основе оптоволокна и классификация оптического волокна***

Оптоволокно работает по принципу полного внутреннего отражения, которое происходит на границе между сердцевиной и оболочкой при условии, что угол падения света внутри сердцевины больше критического угла, поэтому падающий свет будет отражаться обратно в сердцевину и распространяться по волокну. Если свет падает на границу раздела двух сред под углом, превышающим критический угол, то он не пройдет во внешнюю среду, а отразится обратно во внутреннюю. Секция сердцевины с более высоким показателем преломления будет направлять свет через явления полного внутреннего отражения.

Оптические волокна разделяются в зависимости от применения, но в основном их можно классифицировать по следующим признакам: количество мод, структура [1–3]. Характеристики волокон со ступенчатым и градиентным показателями преломления приведены в табл. 1. На рис. 1 показана классификация оптического волокна.

*Таблица 1*

Характеристики волокна со ступенчатым  
и градиентным показателями преломления

Параметр	Ступенчатый показатель преломления	Градиентный показатель преломления
Диаметр сердечника	от 50 до 400 мкм	от 30 до 100 мкм
Диаметр оболочки	от 125 до 500 мкм	от 100 до 150 мкм
Диаметр буферной оболочки	от 250 до 1000 мкм	от 250 до 1000 мкм
Числовая апертура	от 0,16 - 0,5	0,2 - 0,3
Полоса пропускания	от 6 до 50 МГц/км	300 МГц/км - 3 ГГц/км
Затухание	от 2,6 до 50 1дБ/км	от 2 до 10 дБ/км



Рис. 1. Классификация оптического волокна

В одномодовом волокне лучи распространяются по оси параллельной оси сердцевинки или по прямой линии, что позволяет световым лучам проходить большие расстояния с минимальными потерями и временными задержками. Из-за небольшого диаметра сердцевинки распространение света возможно только при соблюдении условия:

$$0 < V < 2,405, \quad (1)$$

где  $V$  – нормированная частота, мкм.

Многомодовые применяются для связи на короткие расстояния, имеют большой диаметр сердцевинки, из-за которого световые лучи могут проходить с различными углами и путями, что приводит к тому, что световой сигнал рассеивается и затухает, испытывая временные задержки, снижение скорости передачи данных, снижение дальности вещания до 500 метров при распространении.

На основе структуры можно разделить волокна на цилиндрические и плоские.

Цилиндрическое волокно состоит из стеклянной сердцевинки, окруженной защитным слоем материала, который имеет более низкий коэффициент преломления, не превышающий разницу в пять тысячных:

$$n_1 - n_2 \leq 0,005, \quad (2)$$

где  $n_1$  – показатель преломления сердцевинки;

$n_2$  – показатель преломления защитного слоя.

Плоское волокно состоит из блока прямоугольной формы, состоящего из трех слоев: основы, световода, покрытия [2]. Показатель преломления основы и покрытия ниже, чем у других слоев.

### ***Волоконно-оптические датчики и сенсоры***

Волоконно-оптические датчики имеют ряд преимуществ, выделяющих их среди других, а именно: обеспечивают высокую чувствительность, разрешение и динамический диапазон, невосприимчивы к радиочастотным и электромагнитным помехам, обеспечивают чувствительность к различным параметрам окружающей среды, малые размеры датчиков, являются неэлектрическими устройствами [4, 5].

Общая структура системы оптических волоконных датчиков в основном состоит из четырех составляющих: источник, например, лазеры, светодиоды, лазерные диоды, оптическое волокно, пространственный модулятор света, преобразующий оптический сигнал, и обрабатывающая электроника. Главными параметрами для модуляции являются амплитуда, состояние поляризации, спектральный сигнал, фаза. Существуют следующие типы оптической модуляции: датчики с модуляцией интенсивности и датчики с фазовой модуляцией [4]. Также существуют группы, на которые эти датчики можно разделить [6]. На рис. 2 показана классификация волоконно-оптических датчиков.

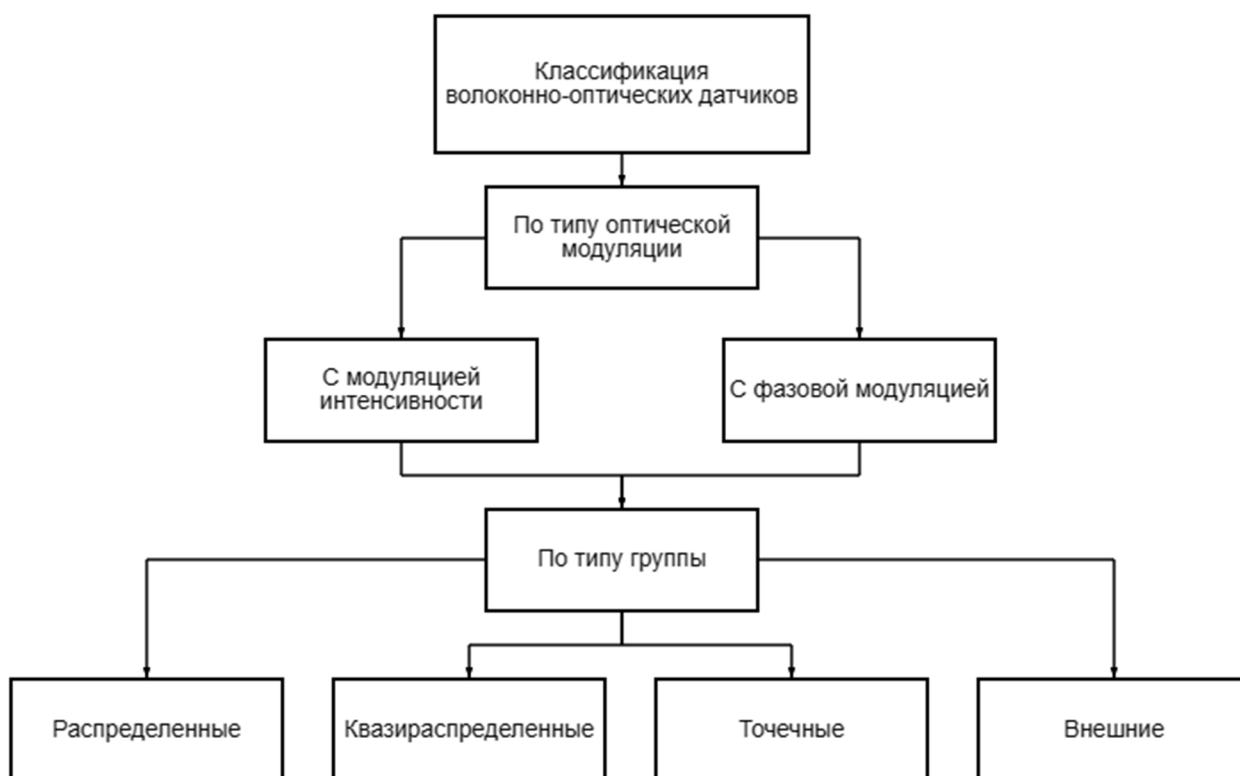


Рис. 2. Классификация волоконно-оптических датчиков

Датчики с модуляцией интенсивности – тип датчиков, использующий изменение интенсивности света для измерения различных физических величин или параметров. В них изменения параметров таких, как давление, температура, преобразуются в изменения интенсивности света, излучаемого или проходящего через оптическую систему.

Датчики с фазовой модуляцией – тип датчиков, использующих изменения световой фазы для измерения различных физических величин или параметров. В этих датчиках изменения параметра преобразуются в изменения фазы светового сигнала. Идея заключается в том, что световая фаза может изменяться в зависимости от физических воздействий на оптическую систему. Затем эти изменения фазы могут быть измерены и интерпретированы как изменения в измеряемом параметре.

У распределенных датчиков оптоволоконный кабель служит в качестве распределенного чувствительного элемента. Они используют метод, основанный на обнаружении вынужденного комбинационного рассеяния, где рассеянный сигнал фиксируется специализированным приемным оборудованием [6]. При изменении физических параметров окружающей среды меняется характер рассеяния вдоль волокна. Эти изменения могут быть затем обнаружены и интерпретированы для измерения соответствующих параметров. Чувствительный элемент такого датчика выполняет функции преобразования измеряемой величины в оптический сигнал и передает его на блок обработки.

Квазираспределенные датчики обладают некоторыми характеристиками, напоминающими распределенные датчики, но при этом не обеспечивает полностью непрерывное зондирование вдоль всего оптоволоконного кабеля. Они могут предоставлять информацию только ограниченными отрезками кабеля или в определенных точках. Они могут быть полезны для ряда приложений, где требуется измерение параметров в определенных участках или точках оптоволоконного кабеля, а не по всей его длине.

Точечные датчики предназначены для измерения параметров в определенной точке или на конкретном участке оптоволоконного кабеля. Точечные датчики включают в себя широкий спектр датчиков, предназначенных для измерения параметров в конкретных точках объекта или системы.

Внешние датчики размещаются за пределами кабеля и используются для измерения внешних параметров. Они могут использоваться в различных приложениях, таких как метеорологические станции, системы мониторинга окружающей среды, безопасности и автоматизации производства [5]. Внешние оптоволоконные датчики обычно состоят из оптоволоконного зонда, который располагается внутри защитной оболочки или кожуха и подключается к приемнику или анализатору данных для обработки и интерпретации результатов измерений.

### ***Передача информации с использованием технологии инфракрасного протокола передачи данных IrDA***

IrDA является стандартом, используемым для беспроводной передачи данных на короткие расстояния при помощи инфракрасного излучения. В первую

очередь его элементы предназначены для создания временных сетей с портативными компьютерами, такими как ноутбуки или карманными персональными компьютерами [7]. Использование инфракрасного излучения позволяет обеспечить безопасность передачи данных, так как сигналы не проходят через стены или другие преграды, что снижает риск несанкционированного доступа к информации. В сравнении с другими беспроводными технологиями можно выделить несколько преимуществ инфракрасных систем передачи данных, среди которых конфиденциальность, простота технологии передачи с высокой скоростью, отсутствие разрешения на использования радиочастотного спектра [8].

Для беспроводных оптических систем можно отметить несколько способов передачи информации: инфракрасное излучение направленного луча, диффузное инфракрасное излучение и квазидиффузное излучение [9]. Чтобы обеспечить безопасность передачи данных при взаимодействии с помощью протокола IrDA необходимо соблюдать не только базовые уровни протокола, но и IrPHY (Infrared Physical Layer Specification), IrLAP (Infrared Link Access Protocol), IrLMP (Infrared Link Management Protocol), IrOBEX (Infrared Object Exchange), IrLAN (Infrared Local Area Network) уровни [7, 10]. На рис. 3 показана классификация методов беспроводной передачи информации, в дальнейшем использующих список протоколов IrDA.

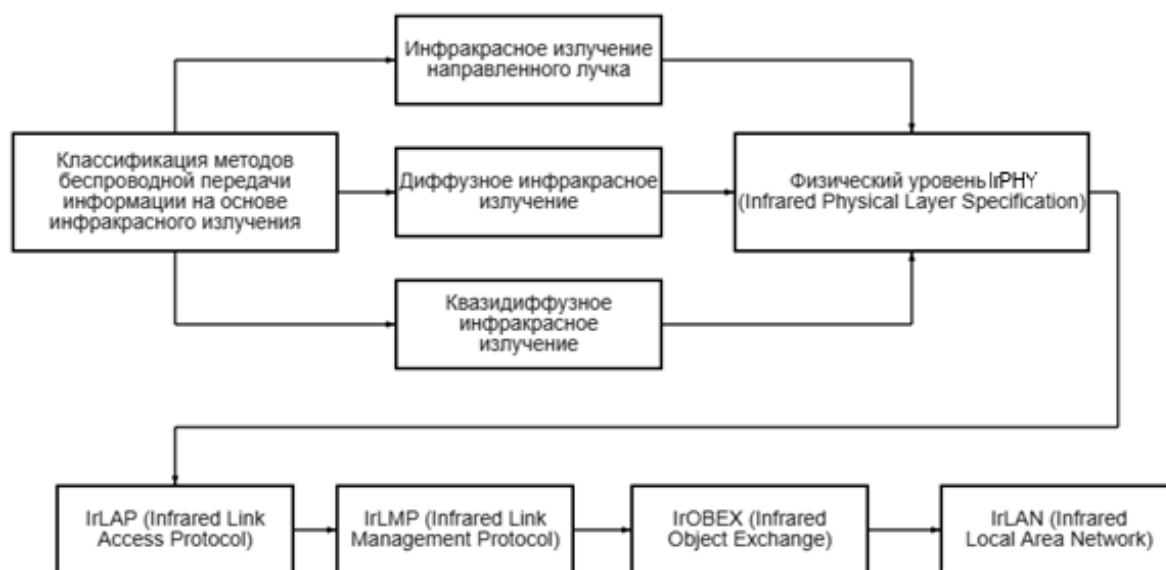


Рис. 3. Методы беспроводной передачи информации

В системе направленного луча применяется технология, в которой луч проходит напрямую от передатчика к приемнику, обеспечивается беспроводная связь между двумя стационарными терминалами, использующими высоконаправленные передатчики и приемники. Данный метод позволяет минимизировать потери в канале связи и максимизировать скорость передачи данных, недостатком является отсутствие подвижности, из-за которой можно заблокировать передающийся сигнал, вставив что-либо между терминалами.

В системе диффузного излучения оптические сигналы направляют в потолок под широким углом, где они отражаются несколько раз перед достижением приемника, такая система предпочтительна для пользователей, так как она не зависит от прямой видимости, но вызывает большие потери сигнала по сравнению со своими аналогами. Другими проблемами в этой технике является уширение импульса из-за многолучевой дисперсии.

Система квазидиффузного излучения представляет собой нечто среднее между системами диффузного излучения и направленного луча. В системе присутствует базовые станции с относительно широким покрытием, созданным отражателем, установленным на потолке. Базовая станция взаимодействует с удаленными терминалами, передавая сигнал от первого терминала ко второму. Для поддержания связи между любым терминалом и базовой станцией требуется прямая видимость, следовательно, удаленные терминалы не могут быть полностью мобильными. Приемно-передатчик удаленного терминала должен быть направлен на базовую станцию, либо его поле зрения должно быть достаточно широким, чтобы обеспечить связь с базовой станцией из любого положения в помещении.

Уровень IrPHY определяется оптическим приемопередатчиком, который обеспечивает корректную генерацию инфракрасных сигналов, включая кодирование, упаковку данных, а также определение диапазонов скоростей передачи.

Уровень IrLAP отвечает за обнаружение, согласование устройств, управление ассоциациями между ними, обнаружение ошибок, повторную передачу пакетов данных, являясь каналом передачи данных.

IrLMP реализует мультиплексирование, что позволяет нескольким клиентам IrLMP работать через одну ассоциацию IrLAP. Приложения имеют возможность обращаться к данным через IrLMP или через один из множества протоколов верхнего уровня, функционирующих поверх IrLMP. Это стандартная функция для устройств IrDA, обеспечивающих прямое или спонтанное взаимодействие между устройствами IrDA.

IrOBEX протокол, рассматриваемый как бинарный для IrDA, используемый для передачи атрибутов объекта, например, содержимое файлов, и обмена объектами общего назначения. Он основан на клиент-серверной архитектуре, поддерживающей операции получение объекта, размещение объекта и установка пути.

IrLAN используется для удобно подключения персонального компьютера к локальной сети.

### *Заключение*

В заключении обзора оптических систем передачи информации можно отметить, что технология оптического волокна играет важную роль в различных областях, таких как телекоммуникации, медицина и наука. Она обладает множеством преимуществ, таких как высокая пропускная способность, низкие потери и отсутствие электромагнитных помех. Однако у нее имеются некоторые недостатки, включая более высокую стоимость и требовательность к квалификации персонала при монтаже. Несмотря на это, разработки в области оптического волокна продолжают активно развиваться, что позволяет расширить его применение.

ние в различных областях, включая сенсорные системы и беспроводные сети, устанавливая технологические стандарты для будущего развития.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rezgui H. An Overview of Optical Fibers. *Global Journal of Science Frontier Research* (2022). – №21. – P. 15–20.
2. Addanki S., Amiri I. S., Yupapin P. Review of optical fibers-introduction and applications in fiber lasers. *Results in Physics* (2018). – №10(A2). – P. 743–750.
3. Singh S., Meena M., Patel B. A Review of the Development in Fiber-based optical communication networks: progress and challenges. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering* (2018). – №7(6). – P. 2971–2980.
4. Sabri N., Aljunid S. A., Salim M. S., Ahmad R. B., Kamaruddin R. Toward Optical Sensors: Review and Applications. *Journal of Physics: Conference Series* (2013). – №423(012064). – P. 1–7.
5. Качура С. М., Постнов В. И. Перспективные оптоволоконные датчики и их применение (обзор). // *Труды ВИАМ*, 2019. – №5(77). – С. 52–61.
6. Ferreira M., Brambilla G., Thevenaz L., Feng X., Zhang L., Sumetsky M., Jones C., Pedireddy S., Vollmer F., Dragic P. Roadmap on optical sensors. // *Journal of Optics*, 2023. – №26(1). – P. 1–36.
7. Абидарова А. А. Особенности передачи данных и их безопасность при использовании протоколов IrDA. // *Известия тульского государственного университета. технические науки*, 2021. – №5. – С. 285–289.
8. Матюшкин А. В., Колестник Т. А. Передача данных с помощью инфракрасного излучения // *Инновационные научные исследования*, 2021. – №12-2(14). – С. 127–133.
9. Singh C., John J., Singh Y. N., Tripathi K. K. A Review of Indoor Optical Wireless Systems. // *IETE Technical Review*, 2015. – №19(1-2). – P. 3–17.
10. Gupta A., Sharma A. P. Information transmission system using infrared data communication protocol. // *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2020. – №2(4). – P. 382–387.

© А. А. Медведев, Д. Н. Тумов, 2024