

# ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ LI-FI НА УЗЛАХ СВЯЗИ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Прядкин А.М.<sup>1</sup>, Заикин Р.В.<sup>2</sup>, Лукьянчик В.Н.<sup>3</sup>

DOI: 10.21681/3034-4050-2025-1-52-59

**Ключевые слова:** оптическая передача данных, системы связи, управление, пропускная способность, оптические передатчики, локальные сети, разведзащищенность.

**Цель работы** заключается в проведении анализа применения технологии Li-Fi, рассмотрении её преимуществ, недостатков и особенностей реализации, обосновании целесообразности её применения на узлах связи, а также в проведении расчетов и получении теоретического значения пропускной способности при передаче данных с использованием данной технологии.

**Метод исследования:** сбор и анализ данных из литературы и интернет-ресурсов, сравнительный анализ, выполнение расчетов, описание, выработка предложения по применению средств, реализующих технологию Li-Fi.

**Результаты исследования:** были рассмотрены принцип работы, преимущества, недостатки, особенности и варианты реализации, а также сферы применения технологии Li-Fi, проведена сравнительная характеристика со схожей технологией Wi-Fi, представлены различные существующие передатчики и приемники, используемые в Li-Fi, исследован вопрос безопасности информации, передаваемой через оптический канал связи, изучена возможность использования оптической передачи данных на узлах связи, проведены математические расчеты и получено теоретическое значение пропускной способности при передаче данных с помощью технологии Li-Fi. Сделаны выводы об эффективности и целесообразности её применения на узлах связи.

**Практическая полезность** заключается в том, что приведен обзор технологии Li-Fi, который может оказаться полезным при изучении средств и способов передачи данных, при рассмотрении вариантов построения локальных сетей, а также при решении задач, связанных с передачей данных посредством световых волн.

## Введение

Опыт военных конфликтов 21 века показывает, что осуществляются эволюционные изменения в развитии пунктов управления и их узлов связи, в первую очередь это связано с необходимостью повышения их разведзащищенности, мобильности, простоты и удобства развертывания и эксплуатации, а также обеспечения высокой пропускной способности, обеспечивающей предоставление требуемого количества современных услуг связи [1]. Узлы связи являются составной частью пункта управления, и, следовательно, от их функционирования зависит устойчивость его функционирования и обеспечение требуемого информационного обмена. Согласно [1] применяемые в настоящее время средства связи, реализующие проводные и беспроводные технологии, не обеспечивают высокую скорость передачи, надежность и безопасность. Решением этой

проблемы может стать применение технологии Li-Fi, которая гармонично сочетает в себе многие достоинства.

Li-Fi (Light Fidelity) — технология беспроводной передачи данных посредством света видимого диапазона от 400 до 800 ТГц. Впервые термин был применен Харальдом Хаасом во время конференции TED Talk в 2011 году [2]. Передача данных осуществляется с помощью бытовых светодиодных ламп, оснащенных специальным чипом, который модулирует свет. Светодиоды имеют возможность быстро включаться и выключаться, что и создает последовательность нулей и единиц, распознаваемых приемником [3,4]. В самом простом случае система Li-Fi состоит из двух основных элементов:

- белый светодиод высокой яркости, который является передатчиком;
- кремниевый фотодиод, способный различать

<sup>1</sup>Прядкин Андрей Михайлович, адъюнкт кафедры боевого применения войск связи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: tbilnovspb28@mail.ru

<sup>2</sup>Заикин Руслан Валерьевич, курсант факультета АСУ Военной академии связи имю Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: rus.zaikin.03@mail.ru

<sup>3</sup>Лукьянчик Валентин Николаевич, кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

видимый свет, являющийся приемником.

Помимо простейшего белого светодиода в качестве передатчика могут использоваться:

1. RGB — диоды (рис.1);



Рис. 1. RGB — диоды

2. Голубые диоды с фосфорным напылением (рис. 2);

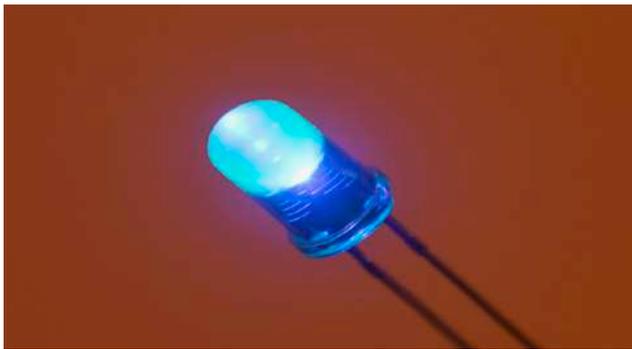


Рис. 2. Голубой диод с фосфорным напылением

3. RGB — лазеры (рис.3).

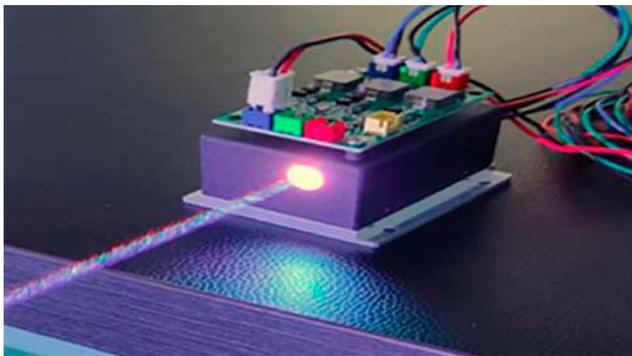


Рис. 3. RGB – лазер

В качестве приемников используются различные оптические модули в различных исполнениях (рис. 4).



Рис. 4. Оптические приемники технологии Li-Fi

Вариант применения оборудования технологии Li-Fi представлен на рис. 5.

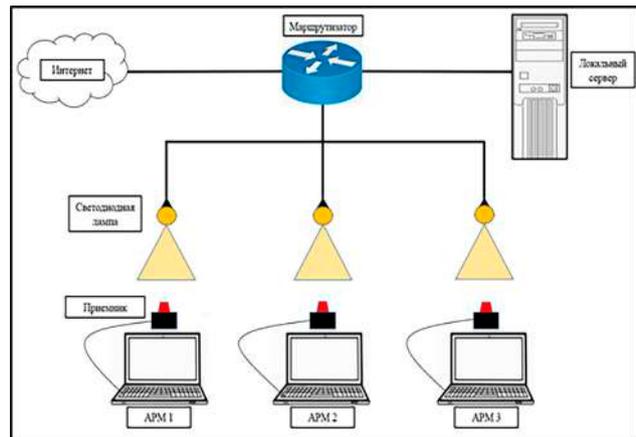


Рис. 5. Вариант применения технологии Li-Fi

Технология обладает существенным преимуществом перед технологией Wi-Fi в виде высокой скорости передачи данных до 224 Гбит/с, что делает ее отличным решением в случаях, требующих высокой пропускной способности, таких как передача больших массивов данных, организация видеоконференцсвязи и т. д. К тому же в Li-Fi для передачи данных применяется видимый свет, следовательно полностью отсутствуют электромагнитные излучения и помехи, при этом Wi-Fi использует радиоволны и помимо создания помех еще и легко обнаруживается радиозлектронной разведкой противника. Еще одним из плюсов технологии Li-Fi является безопасность при передаче данных, так как свет не распространяется через стены, и получить доступ к информации могут только лица, непосредственно

находящиеся в помещении, где функционирует Li-Fi система. Ко всем преимуществам можно отнести низкую стоимость, простоту реализации, отсутствие разрешений на использование частот и многое

другое. Минусами технологии являются необходимость прямой видимости между приемником и передатчиком, подверженность большому количеству ошибок при работе на солнечном свете [4].

### Постановка задачи

Таблица 1 — Сравнение параметров технологий Li-Fi и Wi-Fi

Параметр	Li-Fi	Wi-Fi
Скорость передачи данных, (Гбит/с)	до 224	до 1,3 (стандарт 802.11ac)
Дальность действия, м	до 10	до 100
Безопасность передаваемых данных	Высокая	Низкая
Рабочие частоты, ГГц	$400 \times 10^3 - 800 \times 10^3$	2,4; 5; 6
Помехозащищенность	Высокая	Низкая
Стоимость	Низкая	Низкая
Факторы, влияющие на качество/скорость передачи	Солнечный свет, прямая видимость между приемником и передатчиком	Устройства, работающие в том же частотном диапазоне

Анализ данных, представленных в таблице 1, позволяет сделать вывод, что Li-Fi обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогичным Wi-Fi, а именно более высокой скоростью передачи, помехо- и разведзащищенностью, из недостатков стоит выделить ограниченный радиус действия и зависимость от солнечного света, также в настоящее время оборудование Li-Fi не обладает таким же количеством моделей, по сравнению с Wi-Fi, поэтому поиск и приобретение таких систем пока затруднен, по прогнозам специалистов, еще несколько лет [2, 5].

В настоящее время существует множество возможных вариантов применения технологии Li-Fi, а именно:

- подводная связь — именно свет, способный распространяться под водой, может позволить различным аппаратам связываться друг с другом и передавать необходимую информацию;
- связь между автомобилями — транспортные средства могли бы связываться между собой посредством фар для повышения безопасности дорожного движения;
- коммуникации в районах со сложной электромагнитной обстановкой — в случаях, когда задействовано большое количество радиочастот и есть вероятность многократных коллизий Li-Fi может стать отличным решением;

- Автоматизация домов и зданий — сочетая в себе высокую пропускную способность, безопасность, простоту и удобство, данная технология вполне может заменить привычный Wi-Fi.

Следовательно, технология Li-Fi обладает большим количеством преимуществ, которые могли бы позволить этой технологии использоваться на узлах связи для различных целей. Технология может быть рассмотрена как замена или дополнение к существующим проводным и беспроводным средствам коммуникации на развертываемых полевых и стационарных узлах связи.

Li-Fi может использоваться на узлах связи специального назначения для создания локальной сети пункта управления, между компьютерами должностных лиц и такими устройствами, как принтеры и серверы. Учитывая то, что технология объединяет в себе функции освещения и системы передачи данных, данное решение может сократить время на установку, по сравнению с привычными проводными или беспроводными средствами. Путем введения технологии Li-Fi на узлы связи мы получаем следующие преимущества:

- высокая скорость передачи данных, вплоть до 224 Гбит/с при оптимальных условиях;
- независимость от системы РЭБ и РЭР противника;

- низкая стоимость, простота установки и эксплуатации;
- высокая безопасность передаваемых данных;
- отсутствие воздействия на союзные средства связи.

Помешать работоспособности узлов связи с использованием этой технологии может воздействие яркого солнечного света, но с уче-

том опыта специальной военной операции узлы связи располагаются, как правило, в подвальных помещениях, бункерах, палатках, где наличие естественного света практически исключено, поэтому использование Li-Fi будет не только эффективным, но и эффективным. Вариант реализации системы Li-Fi при размещении узлов связи в подвальных помещениях показан на рисунке 6.

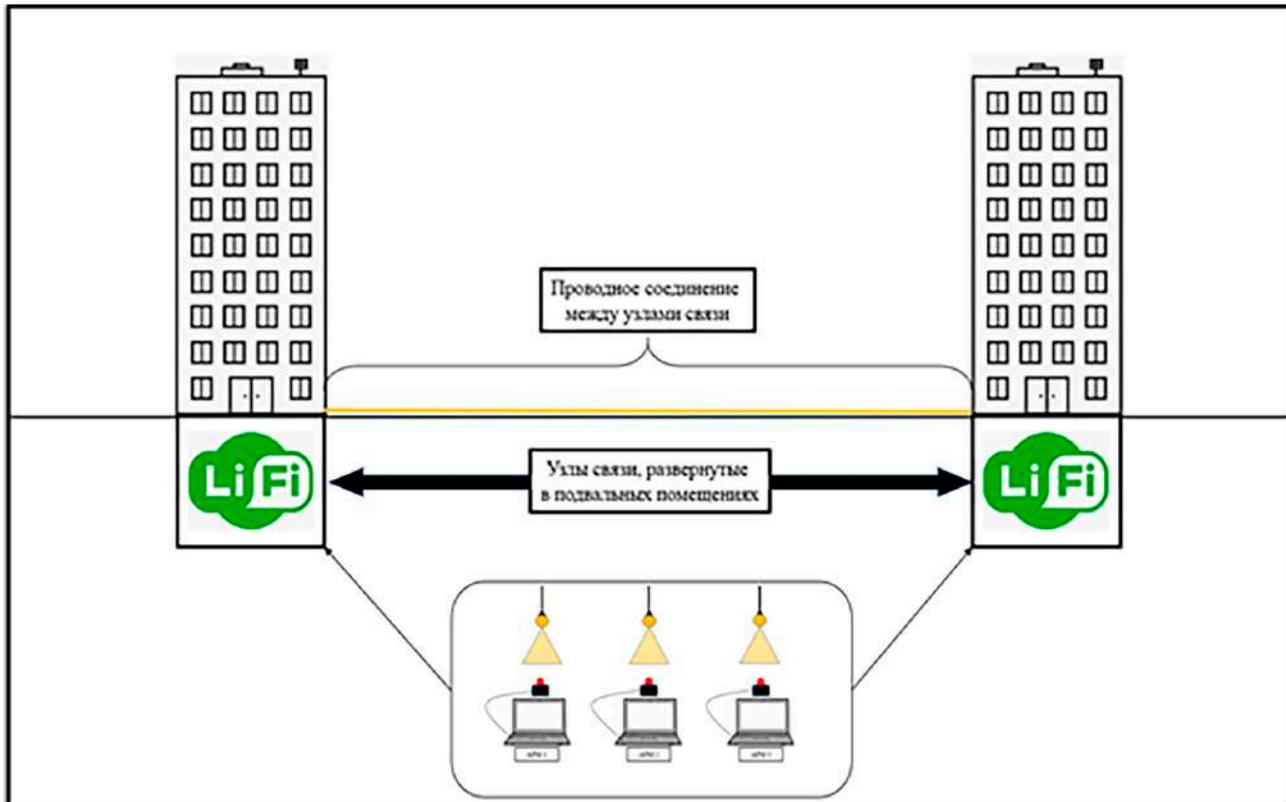


Рис. 6. Вариант реализации технологии Li-Fi при развертывании узлов связи в специальных защищенных помещениях

К минусам технологии относится необходимость в прямой видимости между передатчиком и приемником, что можно без особых усилий обеспечить при нахождении на узле связи. Помимо этого, технология Li-Fi могла бы пригодиться и в различных аппаратных связях, выполняющих функции подвижных пунктов управления, так как в таком случае также необходимы безопасность и быстрая скорость передачи данных, и все также можно создать условия для оптимальной работы Li-Fi-систем.

Из вышесказанного можно сказать, что технология Li-Fi может стать дополнением к привычным способам передачи данных, имеющихся

на узлах связи, или даже полностью заменить их в отдельных случаях.

После анализа необходимо получить теоретическое значение, в качестве искомого определим величину пропускной способности, так как она является самой интересной среди преимуществ рассматриваемой технологии. При расчетах следует обратить внимание на множество факторов, которые влияют на качество и скорость передачи данных, но при этом некоторые из них придется опустить, так как просчитать их влияние не представляется возможным, однако полученное значение будет приблизительным и от него можно будет отталкиваться в дальнейших исследованиях.

### Решение задачи

В целях определения пропускной способности при передаче данных с помощью технологии Li-Fi разработана следующая последовательность. Согласно теореме Шеннона–Хартли, пропускная способность  $C$  равна средней мощности сигнала  $S$ , который можно передать через аналоговый канал связи, подверженный аддитивному белому гауссовскому шуму  $N$  (1):

$$C = B \times \log_2 \left( 1 + \frac{C}{N} \right), \quad (1)$$

где  $C$  — пропускная способность канала, бит/с;  $B$  — полоса пропускания, Гц;  $S$  — полная мощность сигнала в полосе пропускания, Вт;  $N$  — полная шумовая мощность в полосе пропускания, Вт.

В технологиях, основанных на применении видимого света для передачи данных, используются светодиоды, в которых получение белого света получается путем смешивания трех цветов — синего, зеленого и красного. Технология Li-Fi позволяет передавать данные параллельно по каждому из каналов, следовательно, общая полоса пропускания есть сумма полос пропускания синего, красного и зеленого цветов (2):

$$B = B_B + B_R + B_G. \quad (2)$$

Учитывая то, что спектральные диапазоны частот для синего, красного и зеленого цветов составляют 60, 80 и 70 ТГц соответственно, получаем (3):

$$B = 60 + 70 + 80 = 210 \text{ ТГц}. \quad (3)$$

Мощность сигнала, то есть световая мощность, оценивается в данном случае световым потоком  $\Phi$ , значит, за исходное значение светового потока  $\Phi_0$  возьмем значение начального светового потока светодиодной лампы Ecola Light GX53 LED, которая по характеристикам приближена к лампам, используемым в технологии Li-Fi (4):

$$S_0 = \Phi_0 = 920 \text{ лм}, \quad (4)$$

где  $S_0$  — начальная мощность сигнала,  $\Phi_0$  — начальное значение светового потока, лм.

Учитывая шумы, которыми являются естественное и искусственное освещение, отражение света поверхностями, а также загазованность и запыленность среды передачи данных. Их влияние можно оценить по уровню освещенности  $E$ , которая равна световому потоку, падающему на участок поверхности малой единичной площади (5):

$$E = \frac{d\Phi}{d\sigma}, \quad (5)$$

где  $\sigma$  — участок поверхности.

Исходное значение светового потока  $\Phi_0$  может быть выражено в люксах (6):

$$E_0 = \frac{\Phi_0}{I}, \quad (6)$$

где  $E_0$  — начальное значение освещенности, лк.

Освещенность прямо пропорциональна силе света источника света, при этом она уменьшается пропорционально косинусу угла падения лучей. Тогда освещенность  $E$  от точечного источника можем измерить по формуле (7):

$$E = \frac{I}{r^2} \times \cos(i), \quad (7)$$

где  $I$  — сила света, кд;  $r$  — расстояние до источника света, м;  $i$  — угол падения лучей света относительно нормали к поверхности, рад.

Узнав исходное значение светового потока, можем определить силу света, которая, как известно, из определения равна (8):

$$I = \frac{\Phi_0}{\omega}, \quad (8)$$

где  $\omega$  — телесный угол, ср. Учитывая, что телесный угол при вершине прямого кругового конуса с углом раствора  $\alpha$  равен (9):

$$\omega = 2\pi \times \cos(\alpha), \quad (9)$$

где  $\alpha$  — угол раствора конуса.

Для приблизительного расчета силы света в канделях подставим получившуюся формулу в предыдущую (10):

$$I = \frac{\Phi_0}{2\pi \times \cos(\alpha)}. \quad (10)$$

Стоит учесть, что свет распространяется равномерно во все стороны, то есть имеет ламбертовскую диаграмму направленности, а телесный угол  $4\pi$  ср. С учетом погрешности и шумов для более точного расчета возьмем силу света выбранной светодиодной лампы, равную половине от заявленного, то есть 460 лм.

Также важно определить зависимость мощности света передатчика технологии Li-Fi в той или иной точке от расстояния и угла до принимающего оборудования по формуле (11):

$$S_n = \frac{I \times \cos(i_n)}{r_n^2}, \quad (11)$$

где  $r_n$  — расстояние между передатчиком и приемником, м;  $i_n$  — угол падения лучей света относительно нормали, рад;  $n$  — номер эксперимента, соответствующий определенным заранее условиям среды передачи данных.

Рассчитаем мощность шума  $N$ , зная, что она является суммой естественной искусственной и отраженной освещенностей (12):

$$N = E_{\text{окр}} = E_{\text{ест}} + E_{\text{иск}} + E_{\text{отр}} = \frac{I_{\text{ест}}}{r_{\text{ест}}^2} \times \cos(i_{\text{ест}}) + \frac{I_{\text{иск}}}{r_{\text{иск}}^2} \times \cos(i_{\text{иск}}) + \frac{I_{\text{отр}}}{r_{\text{отр}}^2} \times \cos(i_{\text{отр}}), \quad (12)$$

где  $E_{\text{окр}}$  — освещенность от внешних источников, лк;  $E_{\text{ест}}$  — освещенность от естественных источников, лк;  $E_{\text{иск}}$  — освещенность от искусственных источников света, лк;  $E_{\text{отр}}$  — отраженная освещенность, лк;  $I_{\text{ест}}$  — сила света от естественных источников света, кд;  $r_{\text{ест}}$  — расстояние до естественных источников света, м;  $i_{\text{ест}}$  — угол падения лучей естественных источников света относительно нормали к поверхности, рад;  $I_{\text{иск}}$  — сила света от искусственных источников света, кд;  $r_{\text{иск}}$  — расстояние до искусственных источников света, м;  $i_{\text{иск}}$  — угол падения лучей искусственных источников света относительно нормали к поверхности, рад;  $I_{\text{отр}}$  — сила отраженного света, кд;  $r_{\text{отр}}$  — расстояние до источника отраженного света, м;  $i_{\text{отр}}$  — угол падения лучей отраженного света относительно нормали к поверхности, рад.

В качестве отраженной освещенности возьмем значение, равное половине искусственной освещенности (13):

$$E_{\text{отр}} = \frac{E_{\text{иск}}}{2}. \quad (13)$$

Подставив все полученные данные в формулу расчета пропускной способности, получим (14):

$$C_n = (B_B + B_R + B_G) \times \log_2 \left( 1 + \frac{I \times \cos(i_n)}{(E_{\text{ест}} + E_{\text{иск}} + E_{\text{отр}}) \times r_n^2} \right). \quad (14)$$

В нашем случае с использованием светодиодной лампы белого света и с учетом того, что за силу искусственного освещения на узле связи взято значение 400 кд, а за величину естественного освещения, которое на современных узлах связи стремится к минимуму, возьмем значение 50 кд, на расстоянии 20 м по линии

прямой видимости можно достичь следующей теоретической пропускной способности (15):

$$C = (60 + 70 + 80) \times 10^{12} \times \log_2 \left( 1 + \frac{460 \times \cos(0)}{(400 + 200 + 50) \times 400} \right) = 535,5 \text{ Гбит/с}. \quad (15)$$

## Выводы

Важно понимать, что данное значение является теоретическим и может оказаться как больше, так и меньше ввиду различных факторов, таких как запыленность и загрязненность, влияние которых не учитывалось, различных значений искусственной и естественной освещенности и т. д.

Но при этом от этого значения вполне можно отталкиваться в дальнейших опытах, причем оно получилось приемлемым, мало какие технологии могут похвастаться такой пропускной способностью.

Технология Li-Fi может стать поистине прорывом в области передачи данных и эффективным средством доставки информации на узлах связи. На данный момент открыто множество вариантов применения, и, следует полагать, что это не конец различным решениям. При этом надо понимать, что Li-Fi может применяться не всегда и не везде из-за определенных ограничений, она будет практически неприменима на открытой местности, в местах, где присутствует высокая запыленность и большое количество солнечного света, но при этом она будет весьма эффективна в закрытых помещениях, где практически исключены эти факторы.

В статье авторами были произведены анализ технологии Li-Fi, ее преимуществ, недостатков и особенностей реализации, сравнительная характеристика с технологией Wi-Fi, возможные варианты применения, обоснована актуальность использования на узлах связи и произведен расчет теоретической пропускной способности по оптическому каналу связи.

## Литература

1. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. – 298 с.
2. Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Олифер, Н. Олифер. – СПб.: Питер, 2024. – 1008 с.
3. Алексеев, Д. А. Li-Fi — прорыв в науке или бесполезная игрушка? Преимущества и недостатки Li-Fi перед Wi-Fi / Д.А. Алексеев, В.В. Ермолаева. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 11 (91). — С. 161–164. — URL: <https://moluch.ru/archive/91/19744/> (дата обращения: 07.11.2024).
4. Швырев Б. А., Тимонов Д.А. Анализ беспроводных коммуникационных технологий в видимом диапазоне света // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 2020 . № 6-2 (45).

5. Степанян Н. Э. Анализ развития технологии Li - Fi и перспективы её применения в концепции "Умный город" / Н. Э. Степанян // Концепция развития и эффективного использования научного потенциала общества: Сборник статей Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Калуга, 19 мая 2020 года. Том Часть 1. – Калуга: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2020. – С. 95–98. – EDN AENMWV.
6. Морозов, Д. А. Анализ перспектив использования технологии Li-Fi для создания сетей доступа / Д. А. Морозов, В. В. Антонов // Студенческая наука - для развития информационного общества: Сборник научных трудов по материалам XIV Всероссийской научно-технической конференции, Ставрополь, 18 мая 2023 года. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2023. – С. 65–68. – EDN NLHQPJ.
7. Хаас Х., Димитров С. Принципы светодиодных световых коммуникаций: на пути к сетевому Li-Fi. 2015. Cambridge University Press (UK). ISBN: 978-1107049420
8. Басыров, Н.И. Энергопотребление IoT-устройств: сравнительный анализ сетей Wi-Fi И Li-Fi / Н. И. Басыров, В. Н. Невзоров // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: Сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок. В 4-х томах, Курск, 29 ноября 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 47–51. – EDN KNPTMT.
9. Гурнов, К. Б. Исследование технологии Li-Fi / К. Б. Гурнов, Б. В. Давидович // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах 23: Сборник докладов Третьей Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 10–17 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 25–28. – DOI 10.31799/978-5-8088-1824-8-2023-3-25-28. – EDN NHJYPZ.
10. Сушко, Р. Е. Технология Li-fi и её сферы применения / Р. Е. Сушко // Форум молодых ученых. – 2021. – № 6(58). – С. 712–715. – EDN EBKRLV.
11. Пирогов Р. Перспективы использования технологии Li-Fi в аспекте обеспечения информационной безопасности / Р. Пирогов // Collegium Linguisticum-2023: Сборник статей Ежегодной конференции Студенческого научного общества МГЛУ, Москва, 15–17 марта 2023 года / Отв. редактор О.К. Ирисханова, отв. секретарь М.В. Попова [и др.]. – Москва: Московский государственный лингвистический университет, 2023. – С. 740–746. – EDN RVOLBC

## POSSIBILITIES OF USING LI-FI TECHNOLOGY AT COMMUNICATION NODES OF SPECIAL-PURPOSE CONTROL POINTS

*Pryadkin A.M.<sup>1</sup>, Zaikin R.V.<sup>2</sup>, Lukyanchik V.N.<sup>3</sup>*

**Keywords:** optical data transmission, communication systems, control, bandwidth, optical transmitters, local networks, intelligence security.

**The purpose of the work** is to analyze the use of Li-Fi technology, consider its advantages, disadvantages and implementation features, substantiate the expediency of its use at communication centers, as well as to calculate and obtain a theoretical value of bandwidth when transmitting data using this technology.

**Research method:** collection and analysis of data from literature and Internet resources, comparative analysis, calculations, description, development of proposals for the use of means implementing Li-Fi technology.

**Results of the study:** the principle of operation, advantages, disadvantages, features and implementation options, as well as the scope of application of Li-Fi technology were considered, a comparative characteristic with a similar Wi-Fi technology was carried out, various existing transmitters and receivers used in Li-Fi were presented, the issue of security of information transmitted through an optical communication channel was investigated, the possibility of using optical data transmission at communication nodes was studied. mathematical calculations were carried out and the theoretical value of the bandwidth during data transmission using Li-Fi technology was obtained. Conclusions are made about the effectiveness and expediency of its use at communication centers.

**Practical usefulness** lies in the fact that an overview of Li-Fi technology is given, which can be useful in studying the means and methods of data transmission, when considering options for building local networks, as well as in solving problems related to data transmission by means of light waves.

<sup>1</sup>Andrey M. Pryadkin, adjunct of the Department of Combat Use of Signal Troops of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: tbinovspb28@mail.ru

<sup>2</sup>Ruslan V. Zaikin, cadet of the Faculty of Automated Control Systems of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: rus.zaikin.03@mail.ru

<sup>3</sup>Valentin N. Lukyanchik, Ph.D., Associate Professor, Senior Researcher of the Scientific Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E mail: v.lukyanchik@bk.ru

## References

1. Ivanov V. G. Osnovy postroenija i ocenki jeffektivnosti funkcionirovanija sistemy svjazi special'nogo naznachenija v mezhdunarodnom vooruzhenom konflikte na osnove mnogosfernoj i konvergentnoj struktury ee jelementov: Monografija. – SPb.: POLITEH, 2023. – 298 s.
2. Olifer, V. Komp'juternye seti. Principy, tehnologii, protokoly / V. Olifer, N.Olifer. – SPb.: Piter, 2024. – 1008 s.
3. Alekseev D. A. Li-Fi — proryv v nauke ili bespoleznaja igrushka? Preimushhestva i nedostatki Li-Fi pered Wi-Fi / D.A. Alekseev, V.V. Ermolaeva. — Tekst: neposredstvennyj // Molodoj uchenyj. — 2015. — № 11 (91). — S. 161–164. — URL: <https://moluch.ru/archive/91/19744/> (data obrashhenija: 07.11.2024).
4. Shvyrev B. A., Timonov D. A. Analiz besprovodnyh kommunikacionnyh tehnologij v vidimom diapazone sveta. Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk № 6-2 (45), 2020 g.
5. Stepanjan, N. Je. Analiz razvitija tehnologij Li - Fi i perspektivy ejo primeneniya v koncepcii "Umnyj gorod" / N. Je. Stepanjan // Koncepcija razvitija i jeffektivnogo ispol'zovanija nauchnogo potencijala obshhestva: Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. V 2-h chastjah, Kaluga, 19 maja 2020 goda. Tom Chast' 1. – Kaluga: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "OMEGA SAJNS", 2020. – S. 95–98. – EDN AENMWV.
6. Morozov, D. A. Analiz perspektiv ispol'zovanija tehnologij Li-Fi dlja sozdaniya setej dostupa / D. A. Morozov, V. V. Antonov // Studencheskaja nauka - dlja razvitija informacionnogo obshhestva: Sbornik nauchnyh trudov po materialam XIV Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii, Stavropol', 18 maja 2023 goda. – Stavropol': Severo-Kavkazskij federal'nyj universitet, 2023. – S. 65–68. – EDN NLHQPJ.
7. Haas H., Dimitrov S. Principy svetodiodnyh svetovyh kommunikacij: na puti k setevomu Li-Fi. 2015. Cambridge University Press (UK). ISBN: 978-1107049420
8. Basyrov N.I. JenerGOPotreblenie IoT-ustrojstv: sravnitel'nyj analiz setej Wi-Fi i Li-Fi / N. I. Basyrov, V. N. Nevzorov // Innovacionnyj potencial razvitija obshhestva: vzgljad molodyh uchenyh: Sbornik nauchnyh statej 5-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok. V 4-h tomah, Kursk, 29 nojabrja 2024 goda. – Kursk: ZAO "Universitetskaja kniga", 2024. – S. 47–51. – EDN KNPTMT.
9. Gurnov K. B. Issledovanie tehnologij Li-Fi / K. B. Gurnov, B. V. Davidovich // Obrabotka, peredacha i zashhita informacii v komp'juternyh sistemah 23: Sbornik dokladov Tret'ej Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Sankt-Peterburg, 10–17 aprelja 2023 goda. – Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet ajerokosmicheskogo priborostroenija, 2023. – S. 25–28. – DOI 10.31799/978-5-8088-1824-8-2023-3-25-28. – EDN HHJYPZ.
10. Sushko R. E. Tehnologija Li-fi i ejo sfery primeneniya / R. E. Sushko // Forum molodyh uchenyh. – 2021. – № 6(58). – S. 712–715. – EDN EBKRLV.
11. Pirogov R. Perspektivy ispol'zovanija tehnologij Li-Fi v aspekte obespechenija informacionnoj bezopasnosti / R. Pirogov // Collegium Linguisticum-2023: Sbornik statej Ezhegodnoj konferencii Studencheskogo nauchnogo obshhestva MGLU, Moskva, 15–17 marta 2023 goda / Otv. redaktor O.K. Irshanova, otv. sekretar' M.V. Popova [i dr.]. – Moskva: Moskovskij gosudarstvennyj lingvisticheskij universitet, 2023. – S. 740–746. – EDN RVOLBC

