

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Салихожаев Равиль Кудратович

«Организация сети беспроводной связи Li-Fi»

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

6B06201 – Телекоммуникация

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой  
Электроники,  
телекоммуникации и космических  
технологий

Кандидат технических наук

Ташпаев В. И.

\_\_\_\_\_ г.



**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: "Организация сети беспроводной связи Li-Fi"

по специальности 6В06201 – Телекоммуникация

Выполнил

Салихожаев Р.К.

Рецензент

Доктор технических наук,  
профессор

Якубова М.З.

«1» июня 2023 г.

Научный руководитель

Кандидат физ-мат наук,  
ассоциированный профессор

Жунусов К.Х.

«06» июня 2023 г.



Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»



УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой «Электроники,  
телекоммуникации и космической  
технологии»



на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Салихожаеву Равилу Кудратовичу

Тема: «Организация сети беспроводной связи Li-Fi».

Утверждена приказом Ректора Университета № 408-П/Ө от «23» ноября 2023 года.

Срок сдачи законченной работы «30» апреля 2023 г.

Исходные данные к дипломной работе:

1. Литературный обзор Li-Fi (Light Fidelity)
2. Принцип работы Li-Fi
3. Источники света Li-Fi
4. Преобразователи сигнала
5. Зона видимости

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Теоретический обзор технологии Li-Fi
- б) Сравнительный анализ Li-Fi и Wi-Fi
- в) Выбор оборудования Li-Fi
- д) Размещение оборудования
- г) Расчет полосы пропускания для системы Li-Fi

Перечень графического материала: - изложить материалы диссертации в 25 -30 слайдах графического материала на PowerPoint;

Рекомендуемая основная литература: 1) Лаврентьева Е.В. Радиотехнические системы (электронный учебник). 2014, 2) Радиотехнические системы. Под ред. Казаринова Ю.М. М.: Высшая Школа, 1990. <https://habr.com/ru/post/196150/>, 3) Официальный сайт Li-Fi Consortium: <http://www.lificonsortium.org/>, 4) Научная статья "Li-Fi: изобретение следующего десятилетия" (Harald Haas, 2011): <https://ieeexplore.ieee.org/document/5750250>, 5) Статья на портале TechRadar "What is Li-Fi? Everything you need to know": <https://www.techradar.com/news/what-is-li-fi-everything-you-need-to-know>, 6) Статья на портале PCMag "What is Li-Fi?": <https://www.pcmag.com/news/what-is-li-fi>, 7) Научная статья "Li-Fi: практические аспекты и вызовы" (Eduard Slobodyanik, 2020): <https://ieeexplore.ieee.org/document/9200779>

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

| Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов      | Сроки представления научному руководителю | Примечание   |
|---|---|--|
| 1. Обзор существующих технологии Li-Fi. Принцип работы Li-Fi. | 1.09.2022-31.12.2022                      | Отчет – не менее 5 стр и 4 слайда  |
| 2.1 Сравнительный анализ Li-Fi и Wi-Fi.                       | 1.01.2023-30.01.2023                      | Отчет – не менее 10 стр.   |
| 2.2 Выбор оборудования Li-Fi.                                 | 1.02.2023-15.02.2023                      | Отчет не менее 5 стр   |
| 2.3 Размещение оборудования.                                  | 1.02.2023-15.03.2023                      | . Отчет не менее 5 стр   |
| 3. Полосы пропускания для системы Li-Fi.                      | 16.02.2023-31.03.2023                     | Отчет не менее 5 стр .   |
| 4. Написание дипломной работы                                 | 15.04.2023-30.04.2023                     | Окончательная версия дипломной работы не более 30 стр (без учета Приложений), Справка антиплагиата. Отзыв и Рецензия |

**Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

| Наименование разделов | Консультанты Ф.И.О. (уч. степень, звание) | Дата подписания | Подпись |
|-----------------------|---|-----------------|---------|
| Нормоконтролер        | М.т.н, ассистент<br>Ақылжан П.Б.          | 31.05.2023      |         |
|                       |   |                 |         |

Научный руководитель

Жунусов К.Х.

Задание принял к исполнению обучающийся

Салихожаев Р.К.

“22”

2022 г.



## АННОТАЦИЯ

Целью данной дипломной работы является организация сети беспроводной связи Li-Fi в конференц-зале. Li-Fi (Light Fidelity) - это технология передачи данных через видимый свет, которая может обеспечить высокую скорость передачи данных и безопасную коммуникацию. В работе будет выбрано наиболее эффективное оборудование, проведен анализ требований и особенностей конференц-зала, разработан план развертывания сети Li-Fi, включая размещение световых источников и приемников.

В расчетной части будет проведен расчет полосы пропускания, учитывая факторы, такие как доступные частотные диапазоны, ограничения на мощность световых источников и приемников, а также уровень шума.

## АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыстың мақсаты конференц-залда Li-Fi сымсыз байланыс желісін ұйымдастыру болып табылады. Li - Fi (Light Fidelity) - бұл деректердің жоғары жылдамдығы мен қауіпсіз байланысын қамтамасыз ете алатын көрінетін жарық арқылы деректерді беру технологиясы. Жұмыста ең тиімді жабдық таңдалады, конференц-залдың талаптары мен ерекшеліктеріне талдау жүргізіледі, жарық көздері мен қабылдағыштарды орналастыруды қоса алғанда, Li-Fi желісін орналастыру жоспары әзірленеді.

Есептеу бөлігінде қол жетімді жиілік диапазондары, жарық көздері мен қабылдағыштардың қуат шектеулері және шу деңгейі сияқты факторларды ескере отырып, өткізу қабілеттілігі есептеледі.

## ANNOTATION

The purpose of this thesis is to organize a wireless Li-Fi network in a conference room. Li-Fi (Light Fidelity) is a visible light data transmission technology that can provide high data transfer rates and secure communication. The most efficient equipment will be selected, the requirements and features of the conference hall will be analyzed, a plan for the deployment of the Li-Fi network, including the placement of light sources and receivers, will be developed.

In the calculation part, the bandwidth calculation will be carried out, taking into account factors such as available frequency ranges, restrictions on the power of light sources and receivers, as well as noise level.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Введение  | 8  |
| 1 Общий обзор и сравнение с Wi-Fi                 | 9  |
| 1.1 Краткая история                               | 9  |
| 1.2 Принцип работы Li-Fi                          | 10 |
| 1.3 Источники света Li-Fi                         | 12 |
| 1.4 Преобразователи сигнала                       | 13 |
| 1.5 Зона видимости                                | 15 |
| 1.6 Согласованный режим                           | 16 |
| 1.7 Преимущества и недостатки Li-Fi               | 17 |
| 1.8 Сравнительный анализ технологии Li-Fi с Wi-Fi | 18 |
| 2 Оборудование сети беспроводной связи Li-Fi      | 21 |
| 2.1 Выбор оборудования                            | 21 |
| 2.2 Оборудование Oledcomm Li-FiMAX                | 25 |
| 2.3 Выбор места                                   | 26 |
| 2.4 Размещение оборудования                       | 30 |
| 3 Расчет пропускной способности                   | 35 |
| 3.1 Расчет ширины полосы пропускания              | 35 |
| 3.2 Расчет отношения сигнал/шум                   | 37 |
| 3.3 Конечные расчеты и графики                    | 40 |
| Заключение  | 44 |
| Список использованной литературы                  | 45 |
| Приложение А                                      | 46 |
| Приложение Б                                      | 47 |
| Приложение В                                      | 48 |
| Приложение Г                                      | 49 |
| Приложение Д                                      | 50 |

## ВВЕДЕНИЕ

Сети беспроводной связи являются неотъемлемой частью нашей современной жизни, обеспечивая передачу данных и связь между устройствами без необходимости физических проводов. Технология Li-Fi (Light Fidelity) представляет собой инновационный подход к беспроводной связи, основанный на использовании световых волн в качестве среды передачи данных. В отличие от традиционной Wi-Fi, использующей радиоволны, Li-Fi использует видимый спектр света для обмена информацией.

Li-Fi основана на использовании светодиодных (LED) источников света, которые служат не только для освещения, но и для передачи данных. Принцип работы Li-Fi заключается в изменении интенсивности светового сигнала с высокой скоростью, невидимой для глаза человека. Специальные фотодиоды или фотоприемники, встроенные в устройства, преобразуют изменения светового сигнала в электрические сигналы, которые затем интерпретируются как данные.

Технология Li-Fi имеет ряд преимуществ перед Wi-Fi, включая более высокую скорость передачи данных, более безопасную передачу информации и отсутствие влияния на другие беспроводные сети. Кроме того, Li-Fi может использоваться в помещениях, где использование радиоволн может быть ограничено или запрещено, таких как больницы, самолеты и учебные заведения.

Однако, у технологии Li-Fi есть и некоторые ограничения, например, ее работа зависит от наличия прямой видимости между передатчиком и приемником, что ограничивает возможность использования технологии в больших помещениях или с большим количеством преград. Кроме того, стоимость оборудования Li-Fi может быть выше, чем у Wi-Fi, что может препятствовать широкому распространению технологии.

Тем не менее, технология Li-Fi имеет потенциал для применения в различных областях, включая информационные и коммуникационные технологии, освещение, медицину и безопасность. В последние годы были проведены успешные эксперименты по внедрению Li-Fi в некоторые офисы и общественные места, что подтверждает возможность практического применения технологии в ближайшем будущем.

# 1. ОБЩИЙ ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ С WI-FI

## 1.1 Краткая история

История Li-Fi уходит своими корнями в начало 2000-х годов, когда профессор Харальд Хаас из Эдинбургского университета (Великобритания) впервые предложил идею использования световых волн для передачи данных. Он обратил внимание на то, что светодиоды, используемые для освещения, могут изменять свою интенсивность с высокой скоростью, что может быть использовано для передачи информации.

В 2011 году Харальд Хаас провел первый эксперимент по передаче данных с использованием Li-Fi технологии. Он показал, что светодиодные лампы могут использоваться для передачи информации с высокой скоростью, до 10 мегабит в секунду. Этот эксперимент привлек внимание и вызвал интерес к новой технологии связи.



Рисунок 1.1 – Харальд Хаас

С течением времени и с развитием технологий, идея Li-Fi стала получать все большее признание и внимание от научного и бизнес-сообщества. В 2012 году была создана компания pureLiFi, которая стала лидером в области разработки и коммерциализации технологии Li-Fi.

С каждым годом технология Li-Fi становилась все более развитой и прогрессивной. Были проведены исследования и разработки новых методов модуляции света, оптимизации алгоритмов управления доступом к каналу передачи данных, а также создания компактного оборудования для реализации Li-Fi систем.



На сегодняшний день Li-Fi продолжает развиваться и привлекать все больше внимания в качестве перспективной технологии беспроводной связи. Она находит применение в различных областях, таких как освещение помещений, сети передачи данных в офисах и общественных местах, а также в специализированных сферах, таких как авиация и здравоохранение.

Несмотря на то, что Li-Fi все еще находится в стадии разработки и коммерциализации, она представляет собой перспективную альтернативу радиочастотным технологиям связи и может иметь значительное влияние на будущие системы передачи данных и беспроводной связи.

## 1.2 Принцип работы Li-Fi

Li-Fi использует видимый свет (VLC) и инфракрасную связь (IRC) для передачи данных. Используемые одновременно как для связи, так и для освещения, VLC обычно используют светоизлучающие диоды (LED) комфортного белого света. IRC, напротив, обычно реализуется с помощью светодиода с дополнительным лазерным диодом (рисунок 1.2).

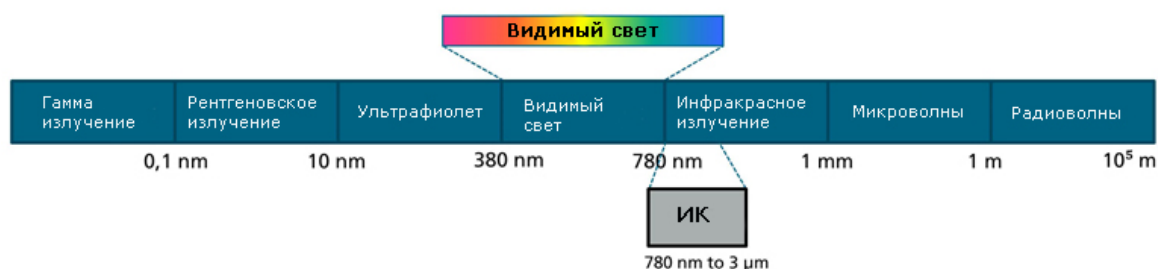


Рисунок 1.2 – спектры видимого и ИК света.

Видимый свет в Li-Fi имеет такие преимущества, как более высокая скорость передачи данных и меньшие помехи, поскольку световые волны не могут проникать сквозь стены. Однако видимый свет также имеет некоторые ограничения, поскольку для передачи данных требуется свет, а свет не может проходить через непрозрачные объекты.

Инфракрасный свет используется в Li-Fi для расширения покрытия и повышения надежности связи. Инфракрасное излучение может проникать через некоторые препятствия, такие как стекло и пластик, и может использоваться для передачи данных в местах, где нельзя использовать видимый свет, например в темноте. Однако скорость передачи данных в инфракрасном свете обычно ниже, чем в видимом свете.

Процесс передачи данных через Li-Fi состоит из нескольких шагов. Сначала данные преобразуются в цифровой формат. Затем эти данные кодируются в последовательность битов, представляющих информацию, которую нужно передать.

Далее, специальные светодиодные лампы, которые служат источниками света для Li-Fi, включаются и выключаются на очень высокой скорости. Этот процесс создает световой сигнал, который является не заметным для глаза человека, но может быть обнаружен фотодиодами или фотоприемниками, работающими как приемники Li-Fi.

Когда световой сигнал достигает фотодиода или фотоприемника, он преобразуется обратно в электрический сигнал. Затем эти электрические сигналы декодируются, чтобы восстановить исходные данные.

Преимущество Li-Fi заключается в его способности достигать очень высоких скоростей передачи данных. Это связано с тем, что свет распространяется гораздо быстрее, чем радиоволны, которые используются в технологии Wi-Fi.

Однако важно отметить, что передача данных по Li-Fi требует прямой видимости между источником света и фотодиодом или фотоприемником. Препятствия, такие как стены или другие объекты, могут ограничивать область покрытия Li-Fi и приводить к потере сигнала.

Также следует учесть, что Li-Fi является дополнительной технологией, которая может использоваться в сочетании с Wi-Fi. Гибридные сети, объединяющие обе технологии, могут обеспечивать более гибкое и эффективное использование беспроводной связи.

В итоге, принцип работы Li-Fi основывается на использовании света для передачи данных, достигая высоких скоростей и обладая потенциалом для применения в различных областях, таких как освещение, интернет вещей и безопасность.



Рисунок 1.3 – Принцип работы системы Li-Fi

### 1.3 Источники света Li-Fi

В технологии Li-Fi в качестве источника света, который используется для передачи данных, обычно используются светодиоды (LED). Светодиоды обеспечивают высокую скорость передачи данных, высокую плотность упаковки, а также энергоэффективность по сравнению с традиционными методами передачи данных, такими как Wi-Fi или Bluetooth.

Li-Fi использует светодиоды, которые включаются и выключаются с высокой скоростью, создавая серию импульсов света, которые используются для передачи данных. Эти светодиоды имеют специальные драйверы, которые могут быстро изменять световую интенсивность, и могут передавать данные с помощью модуляции сигнала света.

Кроме светодиодов, в качестве источника света для передачи данных в технологии Li-Fi также могут использоваться другие источники света, такие как лампы высокой интенсивности (HIL) и лазерные диоды. Однако, светодиоды по-прежнему остаются наиболее распространенным и доступным вариантом источника света для Li-Fi технологии.



Рисунок 1.4 – LED лампа Li-Fi

Оборудование для источников света Li-Fi включает в себя различные типы светодиодов (LED) и лазеров, которые используются для передачи световых сигналов.

В технологии Li-Fi используются два основных типа LED-источников света:

**RGB LED-источники:** Эти LED-источники состоят из красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue) светодиодов, которые могут создавать различные цвета света и комбинации цветов. Такие источники света часто используются для коммерческих приложений Li-Fi, таких как освещение внутри помещений, так как они могут создавать приятную и атмосферную атмосферу.

**White LED-источники:** Эти LED-источники создают белый свет и используются для передачи данных в системах Li-Fi. Такие источники света могут иметь различные спектральные характеристики, такие как температура цвета и цветовая точность, которые могут повлиять на производительность системы Li-Fi.

Также существуют источники света на основе лазеров, которые используются в некоторых приложениях Li-Fi, таких как сверхвысокоскоростная передача данных. Однако, лазерные источники света более дорогие и сложные в производстве, чем LED-источники, поэтому они не так распространены в системах Li-Fi.

В целом, для Li-Fi используются источники света, которые обладают высокой эффективностью, длительным сроком службы и способностью создавать стабильные световые сигналы для передачи данных. Кроме того, источники света должны соответствовать определенным стандартам и требованиям для обеспечения совместимости с другими компонентами системы Li-Fi.

## **1.4 Преобразователи сигнала**

Преобразователи сигнала в системе Li-Fi выполняют роль связующего звена между электрическим и оптическим доменами. Они обеспечивают перевод информации из электрической формы в оптическую и обратно. Преобразователи сигнала играют ключевую роль в передаче данных и обеспечивают эффективное кодирование, модуляцию и демодуляцию светового сигнала.

Основные компоненты преобразователей сигнала в системе Li-Fi включают модуляторы света, фотодетекторы, усилители и фильтры, а также электронику управления.

Модуляторы света в системе Li-Fi используются для изменения интенсивности светового сигнала в соответствии с передаваемыми данными. Они преобразуют электрический сигнал в оптический, позволяя кодировать данные в виде изменений интенсивности света. Модуляторы света могут быть

реализованы с использованием различных методов модуляции, таких как амплитудная модуляция (АМ), частотная модуляция (ЧМ) или фазовая модуляция (ФМ). Это позволяет передавать информацию в виде световых импульсов с заданной модуляцией.

Фотодетекторы, или приемники света, используются для обнаружения изменений интенсивности светового сигнала и преобразования их обратно в электрический сигнал. Фотодетекторы восстанавливают передаваемые данные путем преобразования светового сигнала в электрический сигнал. Они могут быть реализованы в виде фотодиодов или фототранзисторов, которые реагируют на свет и генерируют соответствующий электрический сигнал.

Усилители и фильтры в системе Li-Fi используются для усиления и формирования светового сигнала. Усилители обеспечивают усиление оптического сигнала для компенсации потерь при передаче через оптические каналы. Фильтры используются для формирования спектра светов

Устройство, способное преобразовывать световой сигнал в электрический, называется фотодетектором. Фотодетекторы используются в различных областях технологии, включая оптические сети, медицинскую диагностику, научные исследования и многие другие.

В контексте технологии Li-Fi, фотодетекторы используются для преобразования светового сигнала, передаваемого от источника света, в электрический сигнал, который затем может быть обработан и интерпретирован для получения данных. Фотодиод является одним из наиболее распространенных типов фотодетекторов, которые используются в Li-Fi.

Фотодиод работает на основе внутреннего фотоэффекта, при котором световой сигнал стимулирует генерацию и перенос электронов внутри фотодиода, создавая электрический ток. Фотодиоды обладают высокой скоростью отклика, высокой чувствительностью к свету и малыми габаритами, что делает их идеальным выбором для применения в технологии Li-Fi.

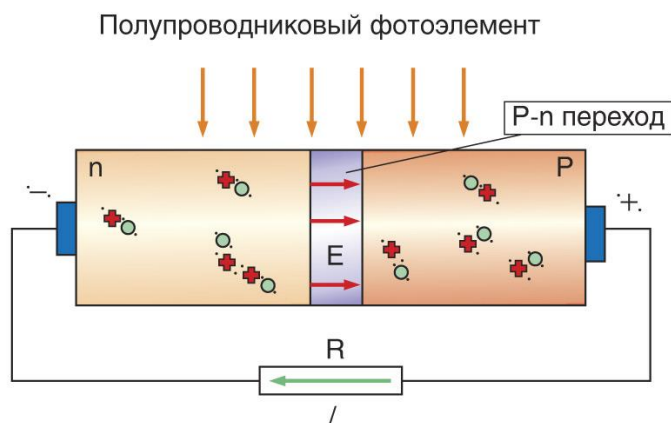


Рисунок 1.5 – Внутренний фотоэффект

Однако, помимо фотодиодов, существуют и другие типы фотодетекторов, такие как фототранзисторы, PIN-диоды и детекторы на основе кремниевых волокон, которые также могут использоваться для преобразования светового сигнала в электрический.

Фотодиод является основным компонентом приемника Li-Fi, поскольку он способен обнаруживать и преобразовывать световой сигнал, передаваемый через канал связи, в электрический сигнал, который затем обрабатывается и интерпретируется для получения данных.

Как правило, на стороне приема используются фотодиоды с высокой чувствительностью к свету и способностью работать на высоких скоростях передачи данных. Фотодиоды могут быть разных типов, включая PN-переходные, PIN-диоды и фототранзисторы, и выбор конкретного типа зависит от требований к скорости передачи данных и чувствительности приемника.

В любом случае, важно обеспечить соответствие между световым сигналом, передаваемым от источника, и чувствительностью приемника, чтобы обеспечить эффективную передачу данных.

Для Li-Fi используются различные типы фотодиодов, такие как PIN-диоды, лавинные диоды и диоды-Шоттки. Каждый из этих типов имеет свои уникальные характеристики, которые определяют их производительность в системе Li-Fi. Однако, в целом, фотодиоды для Li-Fi должны обладать высокой чувствительностью, высокой скоростью реакции и широким диапазоном частот, чтобы обеспечить эффективную передачу данных.

## **1.5 Зона Видимости**

Для того, чтобы обеспечить связь между источником света и приемником в технологии Li-Fi необходимо, чтобы они находились в зоне видимости друг друга. Это означает, что препятствия, такие как стены, могут блокировать связь, поскольку свет не может пройти через твердые объекты, как это делают радиоволны в технологии Wi-Fi.

Однако, это также означает, что Li-Fi может быть более безопасным, чем Wi-Fi, поскольку сигнал не распространяется за пределы помещения, и посторонние устройства не могут перехватывать сигналы. Кроме того, технология Li-Fi может использоваться в качестве дополнения к Wi-Fi для обеспечения дополнительной пропускной способности в зонах с большой плотностью пользователей, таких как аэропорты, торговые центры и офисы.

Зона видимости в технологии Li-Fi определяется областью, в которой приемник (например, фотодиод) может получить световой сигнал от передатчика (например, светодиода). Эта зона обычно ограничена пространством, где свет может распространяться без помех.

Зона видимости Li-Fi зависит от нескольких факторов, таких как мощность светового источника, чувствительность фотодиода, расстояние между передатчиком и приемником, а также наличие препятствий, таких как стены и мебель.

Обычно зона видимости в технологии Li-Fi составляет несколько метров, что может быть достаточным для использования в помещениях. Однако современные исследования в этой области показывают, что новые методы могут увеличить зону видимости Li-Fi до нескольких десятков метров или даже более.

## 1.6 Согласованный режим

Согласованный режим в технологии Li-Fi означает, что передатчик и приемник работают на одной и той же частоте и синхронизированы во времени. В этом режиме передатчик и приемник обмениваются определенными сигналами для согласования скорости передачи и приема данных.

Согласованный режим Li-Fi используется для улучшения производительности системы связи. Он обеспечивает более высокую скорость передачи данных, более надежную связь и более эффективное использование доступной пропускной способности. Кроме того, согласованный режим помогает снизить интерференцию с другими источниками света, такими как солнечный свет или светильники в помещении.

Для того чтобы работать в согласованном режиме, передатчик и приемник должны быть настроены на одну и ту же частоту и иметь синхронизированный сигнал для обмена данными. В таком режиме передача данных в технологии Li-Fi становится более надежной и эффективной.

Для того чтобы передавать данные по свету, источник света (например, светодиод) модулируется таким образом, чтобы создавать изменения в яркости света, которые можно использовать для кодирования данных. Приемник (например, фотодиод) чувствителен к этим изменениям в яркости и преобразует их обратно в электрический сигнал, который может быть использован для восстановления переданных данных.

В согласованном режиме передатчик и приемник работают на одной и той же частоте и синхронизированы во времени, чтобы обеспечить правильную передачу и прием данных. Это достигается путем использования определенных сигналов для согласования скорости передачи и приема данных.

Наличие синхронизированного сигнала в технологии Li-Fi помогает обеспечить надежную передачу данных и уменьшить вероятность ошибок. Также это позволяет улучшить производительность системы связи и эффективность использования доступной пропускной способности.

## 1.7 Преимущества и недостатки Li-Fi

В этом разделе обсуждаются основные недостатки и преимущества Li-Fi. Li-Fi отличается низким энергопотреблением, поскольку передатчик построен с низким соотношением пиковой мощности к средней передающей, а также меньшей вычислительной сложностью. Кроме того, она обладает высокой скоростью соединения по сравнению с другими технологиями и высокой скоростью передачи данных. Таким образом, Li-Fi может достичь очень высокой степени спектральной эффективности из-за значительного снижения помех со стороны совместного канала при реализации плотной сети.

Li-Fi - это доступная система, поскольку она использует существующую инфраструктуру, включая лампы и компоненты освещения, которые установлены практически во всех помещениях. Это также считается "зеленой" технологией, поскольку свет не оказывает вредного воздействия на окружающую среду. Эта функция отсутствует в радиочастотно-чувствительных приложениях, которые могут иметь потенциально негативные последствия для здоровья людей, такие как высокая частота, исходящая от сетей 5G. Соединения Li-Fi также служат улучшенной и надежной связью через инфраструктуру (например, 5G), основанную на платформе V2V. Li-Fi может решить некоторые важные проблемы, с которыми сталкивается 5G, и готова к беспроводной интеграции в ядро 5G.

Размер электромагнитного спектра видимого света превышает 300 ТГц. Аналогичным образом, в этих сетях в идеале должна использоваться широкая нерегулируемая полоса пропускания, и эта полоса пропускания в 600000 раз быстрее, чем канал WiGig(wireless gigabit alliance) 500 МГц, который достигает скорости 7 Гбит/с. Более того, исследования показывают, что достижимая скорость передачи данных устройства с несколькими светодиодами при использовании WDM превысит 100 Гбит/с. Комбинация радиочастотных систем и систем Li-Fi имеет большое преимущество, поскольку система Li-Fi обеспечивает высокую скорость передачи данных в сочетании с освещением, а радиочастотная система обеспечивает повсеместное покрытие. Как экологически устойчивая и возобновляемая сетевая технология с неограниченными ресурсами полосы пропускания, VLC фреймворк появилась в качестве альтернативы традиционным беспроводным технологиям. Устройство VLC обладает многими другими особыми функциями, включая широкую нелицензионную полосу пропускания, которая может работать с переполненным радиочастотным спектром. Кроме того, он предлагает недорогие средства, поскольку используется в качестве передатчика светодиодами. Кроме того, он свободен от помех со стороны современных и существующих технологий и имеет более надежный физический уровень безопасности.

Помимо всех заявленных преимуществ, он обеспечивает освещение без дополнительных затрат и, что наиболее важно, позволяет избежать любых проблем со здоровьем. Аналогично проблеме ограниченного диапазона, точки



доступа LiFi примерно на 10 м короче. Четко прослеживается небольшая область охвата, а также блокирование и затенение. Существует проблема с LOS и, возможно, шумом от другого соседа с подсветкой или другой точкой доступа. При реалистичном представлении систем Li-Fi постоянный прямой ток светодиодов выше, чем сигнал передачи данных, чтобы соответствовать критериям освещения. Таким образом, общие помехи контролируются фотовспышечным шумом выстрела.

Li-Fi обладает высокозащищенным подключением, поскольку свет не может проникать через стены. Это явление обеспечило бы пользователю стабильное соединение по каналу связи и приличную скорость передачи данных. Одним из величайших преимуществ Li-Fi является его недорогая сетевая инфраструктура, поскольку она также легко интегрируется с существующей схемой освещения благодаря недорогому оборудованию. Кроме того, Li-Fi не рассматривается как связанный с потреблением высокой мощности, поскольку он является экологически устойчивым, но не дорогостоящим. Более того, никакая другая сеть электромагнитной инфраструктуры не создает помех системе Li-Fi из-за различных частот электрических волн. Гамма-излучение и ультрафиолетовые не используются в Li-Fi, поскольку они опасны для здоровья человека. Отношение сигнал/шум Li-Fi велико, достижимо и может быть эффективно интегрировано в новый метод освещения.

Еще одним преимуществом системы Li-Fi является то, что она может работать под водой, поскольку свет может проходить через жидкости. Он также предлагает эффективную коммуникацию, поскольку его пропускная способность огромна. Нерегулируемый Li-Fi обеспечивает высокую скорость передачи данных для приложений внутри помещений с высокоскоростной связью. При частоте более 1 МГц работа Li-Fi отличается очень высоким качеством, что впоследствии делает систему очень эффективной. В действительности, если кто-либо выходит за пределы светодиодного источника, сигнал теряется из-за барьеров. Li-Fi также не работает при полной блокировке (когда нет прямой видимости). Учитывая, что свет не может проходить сквозь объекты, сигнал немедленно отключается; это явление называется проблемой блокировки.

## **1.8 Сравнительный анализ технологии Li-Fi с Wi-Fi**

Ключевым отличием Li-Fi от Wi-Fi является использование светодиодов (LED) для передачи данных, вместо радиоволн в Wi-Fi. Сигнал передается посредством мигания светодиодов на такой частоте, которая не воспринимается человеческим глазом.

Технология Li-Fi имеет ряд преимуществ перед Wi-Fi, включая более высокую скорость передачи данных, более безопасную передачу информации и отсутствие влияния на другие беспроводные сети. Кроме того, Li-Fi может

использоваться в помещениях, где использование радиоволн может быть ограничено или запрещено, таких как больницы, самолеты и учебные заведения.

Однако, у технологии Li-Fi есть и некоторые ограничения, например, ее работа зависит от наличия прямой видимости между передатчиком и приемником, что ограничивает возможность использования технологии в больших помещениях или с большим количеством преград. Кроме того, стоимость оборудования Li-Fi может быть выше, чем у Wi-Fi, что может препятствовать широкому распространению технологии.

Тем не менее, технология Li-Fi имеет потенциал для применения в различных областях, включая информационные и коммуникационные технологии, освещение, медицину и безопасность. В последние годы были проведены успешные эксперименты по внедрению Li-Fi в некоторые офисы и общественные места, что подтверждает возможность практического применения технологии в ближайшем будущем.



Рисунок 1.6 – Wi-Fi и Li-Fi

В целом, Li-Fi и Wi-Fi имеют различные преимущества и ограничения, и оба являются важными технологиями беспроводной связи. Какую технологию выбрать зависит от конкретной ситуации и потребностей пользователя. Ниже представлена таблица сравнения некоторых характеристик этих 2 систем.

Таблица 1.1 – Сравнение Wi-Fi и Li-Fi

| Характеристика           | Wi-Fi         | Li-Fi        |
|--------------------------|---------------|--------------|
| Скорость передачи данных | до 500 Мбит/с | до 10 Гбит/с |

*Продолжение таблицы 1.1*

|                           |  |  |
|---------------------------|--|--|
| Дальность передачи:       | до 100 метров на открытом пространстве   | до 10 метров на открытом пространстве  |
| Ширина полосы пропускания | от 20 МГц до 160 МГц (Wi-Fi 6E)  | от 10 МГц до 224 МГц   |
| Интерференция             | подвержен интерференции от других устройств, использующих 2,4 ГГц или 5 ГГц частоту                    | не подвержен интерференции от устройств, использующих радиоволновой диапазон   |
| Безопасность              | сигнал может перехватываться злоумышленниками, которые могут получить доступ к передаваемой информации | сигнал невозможно перехватить, поскольку он передается оптическим путем и не распространяется за пределами помещения |
| Направленность            | сигнал распространяется во все стороны   | сигнал направленный, поэтому для приема необходимо наличие видимой линии между передатчиком и приемником.            |
| Устройства                | работает на многих устройствах, включая смартфоны, ноутбуки, планшеты и т.д.                           | требует специального оборудования, включая LED-лампы с модуляторами и фотодетекторы для приема сигнала.              |

## 2. ОБОРУДОВАНИЕ СЕТИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ Li-Fi

### 2.1 Выбор оборудования

При выборе оборудования Li-Fi необходимо учитывать ряд критериев, чтобы обеспечить эффективное и надежное функционирование системы. Важно принимать во внимание такие факторы как скорость передачи данных, зона покрытия, надежность и стоимость системы. Для необходимо провести анализ рынка технологий Li-Fi. Рынок Li-Fi находится в начальной стадии своего развития, но представляет собой перспективный сегмент в области беспроводных технологий передачи данных. Согласно отчету MarketsandMarkets, рынок Li-Fi ожидается вырасти с 6,1 миллионов долларов в 2019 году до 1,5 миллиарда долларов к 2028 году с годовой ставкой роста более 70%. Основными факторами, которые будут способствовать росту рынка Li-Fi, являются высокая скорость передачи данных, безопасность передачи, отсутствие помех для других радиочастотных устройств, увеличение количества устройств интернета вещей и мобильных устройств, а также повышение спроса на энергоэффективные решения в области освещения. На рынке Li-Fi происходит непрерывное развитие и инновации. Компании активно работают над улучшением производительности, дальности передачи, стандартов связи и интеграции с другими сетевыми технологиями. Новые разработки включают в себя более компактное оборудование, более эффективные протоколы связи и расширенные возможности управления и мониторинга. Однако на рынке Li-Fi есть и вызовы, такие как высокая стоимость оборудования и недостаточная стандартизация технологии, что может затормозить ее развитие. Кроме того, ограниченный диапазон передачи данных и зависимость от освещения могут быть ограничением для использования Li-Fi в некоторых областях.

В настоящее время на рынке существует несколько компаний, которые занимаются разработкой и производством оборудования для технологии Li-Fi.

Основными компании являются:

- PureLiFi - британская компания, которая является одним из лидеров в разработке технологии Li-Fi. Она предлагает ряд продуктов, включая системы связи для офисных помещений и розничных точек.
- Signify - компания, которая ранее была известна как Philips Lighting, и она также занимается разработкой систем связи на основе технологии Li-Fi.
- VLNComm - американская компания, которая специализируется на разработке и производстве технологии Li-Fi для IoT-устройств и сенсорных сетей.
- Oledcomm - французская компания, которая занимается разработкой и производством систем связи на основе технологии Li-Fi, включая устройства для домашнего использования и офисов.

Таблица 2.1 – Характеристики PureLiFi-XC

| Параметр                          | Значение                            | Единица измерения |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Напряжение питания                | 27-57                               | В (прямой ток)    |
| Передача данных                   | Дуплекс                             | -                 |
| Стандартное потребление мощности  | 4                                   | Вт                |
| Максимальное потребление мощности | 8                                   | Вт                |
| Вход питания                      | 2-контактный Microfit 3.0 connector | -                 |
| Площадь покрытия                  | 40                                  | м <sup>2</sup>    |
| Рабочая температура               | 0-39                                | °С                |
| Влажность (без конденсации)       | 20-95                               | %                 |
| Минимальное рабочее расстояние    | 1                                   | м                 |
| Максимальное рабочее расстояние   | 6                                   | м                 |
| Максимальное число пользователей  | 8                                   | -                 |
| Вход приемной станции             | USB 2.0                             | -                 |
| Скорость скачивания               | 43                                  | Мбит/с            |
| Скорость загрузки                 | 43                                  | Мбит/с            |
| Цена                              | 1290                                | \$                |

Таблица 2.2 – Характеристики Signify Trulifi 6002.2

| Параметр                          | Значение    | Единица измерения  |
|-----------------------------------|-------------|--------------------|
| Напряжение питания                | 100-240     | В (переменный ток) |
| Передача данных                   | Полудуплекс | -                  |
| Стандартное потребление мощности  | 38          | Вт                 |
| Максимальное потребление мощности | 42          | Вт                 |
| Вход питания                      | RJ-12       | -                  |
| Площадь покрытия                  | 30          | м <sup>2</sup>     |
| Рабочая температура               | 10-40       | °С                 |

Продолжение таблицы 2.2

|                                  |                |        |
|----------------------------------|----------------|--------|
| Влажность(без конденсации)       | 20-90          | %      |
| Минимальное рабочее расстояние   | 1              | м      |
| Максимальное рабочее расстояние  | 3              | м      |
| Максимальное число пользователей | 16             | -      |
| Вход приемной станции            | USB 3.0 Type-C | -      |
| Скорость скачивания              | 220            | Мбит/с |
| Скорость загрузки                | 160            | Мбит/с |
| Цена                             | 1850           | \$     |

Таблица 2.3 – Характеристики VLNComm LumiNex и LumiStick 2

| Параметр                          | Значение              | Единица измерения  |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Напряжение питания                | 230                   | В (переменный ток) |
| Передача данных                   | Полудуплекс           | -                  |
| Стандартное потребление мощности  | 35                    | Вт                 |
| Максимальное потребление мощности | 42                    | Вт                 |
| Вход питания                      | Gigabit Ethernet Port | -                  |
| Площадь покрытия                  | 37                    | м <sup>2</sup>     |
| Рабочая температура               | 0-60                  | °С                 |
| Влажность(без конденсации)        | 10-90                 | %                  |
| Минимальное рабочее расстояние    | 1                     | м                  |
| Максимальное рабочее расстояние   | 8                     | м                  |
| Максимальное число пользователей  | 15                    | -                  |
| Вход приемной станции             | USB 2.0               | -                  |
| Скорость скачивания               | 70                    | Мбит/с             |
| Скорость загрузки                 | 60                    | Мбит/с             |
| Цена                              | 2000                  | \$                 |

Таблица 2.4 – Характеристики Oledcomm Li-FiMAX

| Параметр                          | Значение       | Единица измерения  |
|-----------------------------------|----------------|--------------------|
| Напряжение питания                | 220            | В (переменный ток) |
| Передача данных                   | дуплекс        | -                  |
| Стандартное потребление мощности  | 36             | Вт                 |
| Максимальное потребление мощности | 42             | Вт                 |
| Вход питания                      | RJ-45 Ethernet | -                  |
| Площадь покрытия                  | 28             | м <sup>2</sup>     |
| Рабочая температура               | 0-60           | °C                 |
| Влажность(без конденсации)        | 20-90          | %                  |
| Минимальное рабочее расстояние    | 1              | м                  |
| Максимальное рабочее расстояние   | 12             | м                  |
| Максимальное число пользователей  | 16             | -                  |
| Вход приемной станции             | USB            | -                  |
| Скорость скачивания               | 100            | Мбит/с             |
| Скорость загрузки                 | 40             | Мбит/с             |
| Цена                              | 1200           | \$                 |

На основании данных предоставленных из таблиц, следует что лучшим по соотношению цена/качество является решение французской компании “Oledcomm Li-FiMAX”.

## 2.2 Оборудование Oledcomm Li-FiMAX

Система Oledcomm LiFiMax использует единую точку доступа, которую можно установить на потолке рабочего места. Это подходит для домашнего

офиса, коворкинга или конференц-зала. 1 передатчик передает сигнал площадью в 28 м<sup>2</sup>. С помощью ключа plug-and-play до 16 пользователей могут одновременно пользоваться Интернетом.

Точка доступа LifiMAX от компании Oledcomm использует световые волны спектра видимого света, которые передаются от светодиодов в точке доступа к устройству, например, ноутбуку или смартфону, который оснащен специальным приемником Li-Fi.

Приемник Li-Fi принимает инфракрасные световые сигналы от точки доступа и преобразует их в цифровые данные, которые можно использовать для беспроводной передачи данных. Эти данные могут быть переданы обратно через приемник Li-Fi, который отправляет данные обратно к точке доступа. Точка доступа LifiMAX может обеспечивать скорости передачи данных до 100 Мбит/с.

Точка доступа OLEDCOMM LiFiMAX имеет компактный дизайн и может быть установлена на потолке или на стене. Она подключается к сети Ethernet и может обеспечивать доступ к Интернету для нескольких устройств одновременно. OLEDCOMM LiFiMAX также имеет возможность автоматической настройки и оптимизации сети для обеспечения максимальной скорости передачи данных и минимальной задержки.



Рисунок 2.1 – Точка доступа Oledcomm LiFiMAX

Приемник Oledcomm LiFiMAX представляет из себя станцию которая передает/принимает сигнал с основной точкой доступа. Её можно подключить к ноутбуку, компьютеру и другим гаджетам по цифровому ключу через USB.





Рисунок 2.2 – Приемная станция Oledcomm LiFiMAX

### 2.3 Выбор места

При выборе места для организации сети беспроводной связи Li-Fi несколько факторов должны быть учтены, чтобы обеспечить эффективное и надежное функционирование этой технологии.

Во-первых, важно выбирать места с высокой плотностью использования пространства. Чем больше устройств и пользователей находится в определенной зоне, тем больше потенциал для использования Li-Fi. Конференц-залы, офисы, аэропорты, торговые центры и другие общественные места, где присутствует большое количество людей, являются идеальными местами для внедрения сети Li-Fi. Это позволяет максимизировать использование доступного спектра света для передачи данных и обеспечить высокую пропускную способность.

Во-вторых, необходимо учитывать особенности физической инфраструктуры места. Li-Fi использует освещение для передачи данных, поэтому наличие осветительных систем в выбранном месте является обязательным. Наличие подходящих светодиодных (LED) ламп или специальных осветительных систем, совместимых с Li-Fi, является важным условием для успешной реализации сети. Также следует учесть расположение и конфигурацию помещений, чтобы обеспечить оптимальное покрытие и распространение сигнала Li-Fi.

В-третьих, безопасность и конфиденциальность информации должны быть учтены при выборе места. Li-Fi обладает преимуществами в этом аспекте, так как свет не проникает через стены и может быть легко ограничен в определенной области. Это позволяет обеспечить защищенное и конфиденциальное соединение для передачи чувствительных данных, что

делает места, где важно обеспечить высокий уровень безопасности, подходящими для использования Li-Fi.

В-четвертых, следует учитывать электромагнитную совместимость и потенциальные помехи. Одним из преимуществ Li-Fi является его низкая подверженность электромагнитным помехам. В то время как традиционные беспроводные технологии, такие как Wi-Fi, могут столкнуться с проблемами перегруженности спектра и электромагнитных помех, связанных с использованием различных электронных устройств, Li-Fi использует световые волны, которые не создают электромагнитных помех. Это делает Li-Fi особенно подходящим для использования в помещениях с большим количеством электронного оборудования и других источников помех.

В-пятых, важно учитывать гибкость размещения точек доступа Li-Fi. Конференц-залы, как правило, имеют достаточно гибкую инфраструктуру, позволяющую устанавливать и перемещать точки доступа Li-Fi в нужных местах. Это дает возможность легко адаптировать сеть Li-Fi под изменяющиеся потребности и требования пользователей.

Выбор места организации сети беспроводной связи Li-Fi является важным шагом для успешной реализации этой технологии. Учитывая плотность использования пространства, наличие физической инфраструктуры, безопасность, электромагнитную совместимость и гибкость размещения точек доступа, можно создать эффективную и надежную сеть Li-Fi, способную обеспечить высокую пропускную способность и безопасность передачи данных в выбранном месте.

Организация беспроводной связи Li-Fi может быть проведена во множестве различных мест и ситуаций. В этой статье рассмотрим различные места, где Li-Fi может быть использована и какие преимущества она может предложить в каждой из этих ситуаций.

– Офисные помещения:

В офисных помещениях Li-Fi может стать эффективной альтернативой традиционной Wi-Fi. Она позволит обеспечить быстрое и надежное подключение к интернету для всех сотрудников, работающих в офисе. Благодаря высокой пропускной способности Li-Fi, передача больших объемов данных, таких как видео и файлы высокого разрешения, будет осуществляться быстро и без задержек. Кроме того, световые волны Li-Fi не проникают через стены, что повышает безопасность сети и предотвращает несанкционированный доступ к данным.

– Конференц-залы:

Конференц-залы являются идеальным местом для использования Li-Fi. Большие залы собирают множество людей, которые активно используют интернет и передают данные. Технология Li-Fi обеспечивает высокую скорость передачи данных, что особенно полезно в таких условиях. Высокая пропускная способность Li-Fi позволит участникам мероприятий легко обмениваться информацией, смотреть презентации и проводить видеоконференции. Более того, отсутствие электромагнитных помех и

повышенный уровень безопасности делают Li-Fi привлекательным выбором для конференц-залов.

– Учебные заведения:

В учебных заведениях, таких как школы, колледжи и университеты, Li-Fi может играть важную роль в обеспечении высокоскоростного интернет-соединения для учащихся и преподавателей. С помощью Li-Fi учащиеся смогут быстро получать доступ к онлайн-учебным материалам, видеоурокам и другим ресурсам. Это также позволит проводить интерактивные уроки, включая просмотр видео, общение в реальном времени и совместную работу над проектами.

– Транспортные средства:

Li-Fi может быть использована в различных транспортных средствах, таких как поезда, самолеты и автобусы. Благодаря высокой пропускной способности и отсутствию электромагнитных помех, Li-Fi может обеспечить пассажирам быстрый и стабильный интернет-сигнал. Пассажиры смогут без проблем обмениваться сообщениями, смотреть потоковое видео, читать новости и работать в Интернете во время путешествия.

– Гостиничные номера:

В гостиничных номерах Li-Fi может предложить удобство и высокое качество связи для гостей. Благодаря Li-Fi, гости смогут наслаждаться быстрым интернетом и комфортным пребыванием в гостинице. Отсутствие электромагнитных помех также позволит гостям спокойно работать и использовать свои устройства, не беспокоясь о проблемах с сигналом.

– Медицинские учреждения:

В медицинских учреждениях, таких как больницы и клиники, Li-Fi может быть полезной для обмена медицинской информацией и мониторинга пациентов. Благодаря высокой пропускной способности, Li-Fi может обеспечить быструю передачу медицинских данных и изображений, что важно для быстрого диагностирования и лечения пациентов. Кроме того, безопасность Li-Fi поможет предотвратить несанкционированный доступ к медицинским данным и защитить конфиденциальность пациентов.

– Производственные предприятия:

В производственных предприятиях Li-Fi может быть использована для обмена данных и мониторинга процессов производства. Быстрая и стабильная связь, предоставляемая Li-Fi, позволит операторам машин получать информацию в режиме реального времени, управлять процессами и повышать производительность. Безопасность Li-Fi также играет важную роль в защите конфиденциальной информации и предотвращении внешних вмешательств.

– Торговые центры и розничные магазины:

В торговых центрах и розничных магазинах Li-Fi может быть использована для улучшения взаимодействия с клиентами и предоставления дополнительных услуг. Например, с помощью Li-Fi можно создавать персонализированные предложения и рекламу на основе местоположения

клиента в магазине. Также Li-Fi позволяет клиентам быстро получать информацию о товарах, ценах и акциях через свои мобильные устройства.

– Мероприятия и выставки:

На мероприятиях и выставках Li-Fi может предоставить посетителям возможность получать дополнительную информацию о представляемых продуктах и услугах. Благодаря Li-Fi можно создать интерактивные зоны, где посетители смогут получать подробную информацию через свои устройства, например, с помощью QR-кодов или NFC-меток. Это также позволит организаторам мероприятия отслеживать активность и предпочтения посетителей для более эффективного планирования будущих событий.

– Городская инфраструктура:

В городской инфраструктуре Li-Fi может использоваться для создания "умных городов" и улучшения жизни горожан. Например, освещение уличных фонарей может служить не только источником света, но и точками доступа Li-Fi, обеспечивая беспроводной интернет для общественности. Это позволит горожанам получать информацию о городских услугах, перемещаться по городу с помощью навигации и подключаться к общественным ресурсам.

Выбор конференц-зала для организации сети беспроводной связи Li-Fi обосновывается рядом факторов, которые делают его привлекательным местом для внедрения этой технологии. Конференц-залы обычно имеют достаточно большую площадь и вместительность, чтобы вместить большое количество участников. Это особенно важно для бизнес-мероприятий, конференций и симпозиумов, где требуется обеспечить связь для множества людей.

Благодаря высокой пропускной способности Li-Fi, конференц-зал может обеспечить стабильное и быстрое подключение для всех участников, даже при высокой загрузке сети. Это позволяет участникам легко обмениваться файлами, просматривать мультимедийные материалы, участвовать в онлайн-голосовании и задавать вопросы в режиме реального времени, используя свои устройства.

Кроме того, конференц-залы часто используются для активного обмена информацией, презентаций, дискуссий и взаимодействия между участниками. В этой среде важна быстрая и надежная связь, которую может предоставить Li-Fi. Участники могут легко обмениваться информацией, просматривать презентации, прослушивать аудио- и видеоматериалы, участвовать в интерактивных сессиях и задавать вопросы спикерам в режиме реального времени.

Одним из преимуществ Li-Fi является отсутствие электромагнитных помех. В конференц-залах часто используются различные электронные устройства, включая аудио- и видеоаппаратуру, микрофоны и т.д. Традиционные беспроводные технологии, такие как Wi-Fi, могут столкнуться с проблемами электромагнитных помех, которые могут негативно повлиять на качество связи. В отличие от этого, Li-Fi использует видимый свет для

передачи данных и не создает электромагнитных помех. Это позволяет обеспечить более стабильную и надежную связь в конференц-залах.

Конференц-залы также являются местом, где обсуждаются чувствительные и конфиденциальные данные. Li-Fi, как технология, работающая на основе световых волн, обладает высоким уровнем безопасности передачи данных. Свет не проникает через стены, поэтому доступ к сети Li-Fi может быть ограничен только к лицам, находящимся внутри конференц-зала, что повышает конфиденциальность информации и предотвращает несанкционированный доступ к данным.

Гибкость размещения точек доступа Li-Fi также является важным фактором при выборе конференц-зала. В конференц-залах можно легко разместить несколько точек доступа Li-Fi, чтобы обеспечить полное покрытие зоны. Кроме того, установка и настройка точек доступа Li-Fi не требует проведения дополнительных кабелей, так как они используют уже существующую инфраструктуру освещения. Это делает развертывание Li-Fi в конференц-зале более гибким и экономически эффективным вариантом по сравнению с проводными сетями.

В целом, выбор конференц-зала для организации сети беспроводной связи Li-Fi обосновывается его большой площадью и вместительностью, способностью обеспечить высокий уровень интерактивности и стабильное подключение для множества участников, отсутствием электромагнитных помех, высоким уровнем безопасности передачи данных и гибкостью размещения точек доступа. Все эти факторы делают конференц-зал идеальным местом для успешной реализации сети беспроводной связи Li-Fi.

## **2.4 Размещение оборудования**

Для размещения оборудования Li-Fi рекомендуется выбирать места, где препятствия для световых лучей минимальны. Важно учитывать, что сигнал Li-Fi может блокироваться препятствиями, такими как стены или мебель. Поэтому оборудование Li-Fi следует размещать в помещениях с минимальным количеством препятствий, а при необходимости использовать ретрансляторы, чтобы передавать сигнал через препятствия.

Также следует учитывать факторы, такие как уровень освещения, наличие источников света и прочие электромагнитные помехи, которые могут влиять на качество связи. В целом, оптимальное размещение оборудования Li-Fi зависит от конкретных условий и требует индивидуального подхода при проектировании системы связи.

Местом организации сети беспроводной связи выбран конференц-зал, так как система Li-Fi хорошо подходит для таких мест из-за большей безопасности данной сети, которые довольно важны на крупных совещаниях. Так же сам конференц-зал довольно просторное пространство, в котором в большинстве случаев отсутствуют преграды для распространения света.

Высота потолков составляет не менее 3 метров, поэтому длины распространения передатчика Li-Fi будет достаточной.

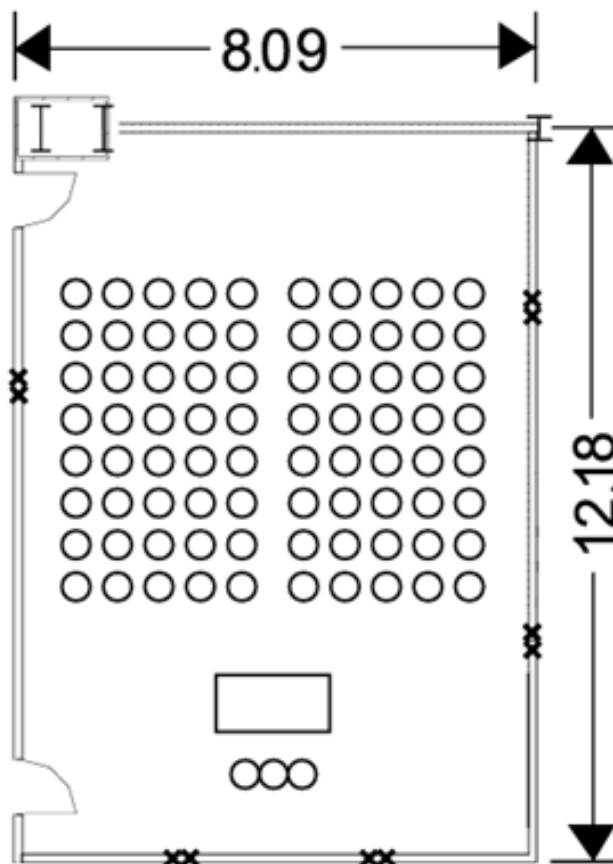


Рисунок 2.3 – План конференц-зала

Вот несколько рекомендаций для размещения Li-Fi оборудования в конференц-зале:

- Размещение передатчиков: Расположение передающей станции должно быть таким, чтобы обеспечить равномерное покрытие всего конференц-зала. Оптимально размещать светильники в стратегических местах, таких как потолок или стены, чтобы минимизировать преграды между светильниками и приемниками.

- Расположение приемников сигнала: Приемники следует размещать в местах, где будут находиться устройства, которые нужно подключить к сети Li-Fi. Это могут быть столы, сидения или другие удобные места для пользователей. При размещении приемников следует учитывать наличие преград, которые могут блокировать световой сигнал. Твердые стены, мебель или другие препятствия могут ослабить сигнал или вызвать его отражение, что приведет к снижению качества связи.

- Анализ покрытия сигнала: Перед размещением светильников и приемников рекомендуется провести анализ покрытия сигнала, чтобы

определить оптимальное расположение оборудования. Это позволит учесть особенности конференц-зала, такие как размеры, форма, материалы стен и наличие преград, которые могут влиять на распространение световых сигналов.

– Учет освещения: Освещение конференц-зала может влиять на работу Li-Fi системы. Рекомендуется установка светильников с регулируемой яркостью, чтобы адаптировать освещение в соответствии с требованиями передачи данных. Это позволит достичь оптимального соотношения сигнал/шум и минимизировать влияние внешних источников света.

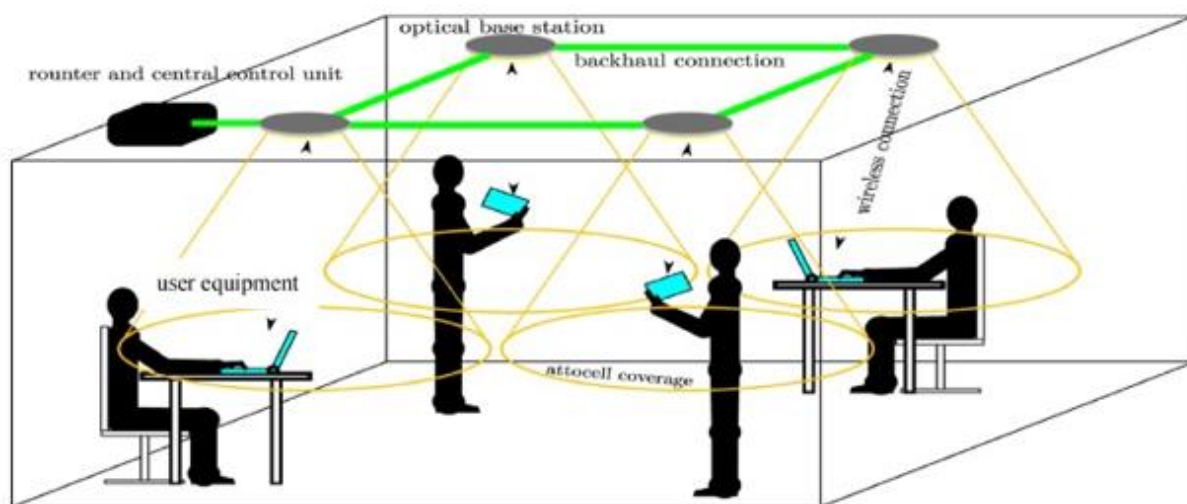


Рисунок 2.4 – Размещение оборудования li-fi

В целях экономии и получения максимальной производительности системы, следует определить необходимое количество передатчиков, а также установить их максимально покрывая зону конференц-зала. Исходя из ожидаемого количества участников совещания, можно выбрать соответствующее количество точек доступа для обеспечения надежной связи для всех пользователей. Затем следует установить точки доступа таким образом, чтобы они максимально покрывали зону конференц-зала. Размещение точек доступа должно быть оптимальным, чтобы минимизировать перекрытие и обеспечить равномерное покрытие во всем зале. Приемники Li-Fi будут размещаться на сиденьях в зоне видимости передатчика. Это позволит каждому участнику совещания иметь доступ к связи Li-Fi. Размещение приемников на сиденьях также обеспечит устойчивое соединение и минимизацию потерь сигнала. Ниже представлена таблица показывающая зависимость количества подключенных пользователей, а также зоны покрытия от количества точек доступа Li-Fi.

Таблица 2.5 – Покрытие точек доступа от их количества

| Количество точек доступа | Количество подключаемых пользователей, чел | Площадь покрытия, м <sup>2</sup> |
|--------------------------|--|----------------------------------|
| 1                        | 16   | 28                               |
| 2                        | 32   | 56                               |
| 3                        | 48   | 84                               |
| 4                        | 64   | 112                              |
| 5                        | 80   | 140                              |
| 6                        | 96   | 168                              |

На основании данной таблицы был написан небольшой скрипт на python, который графически показывает эффективность покрытия сигнала. Код данного скрипта находится в приложении А.

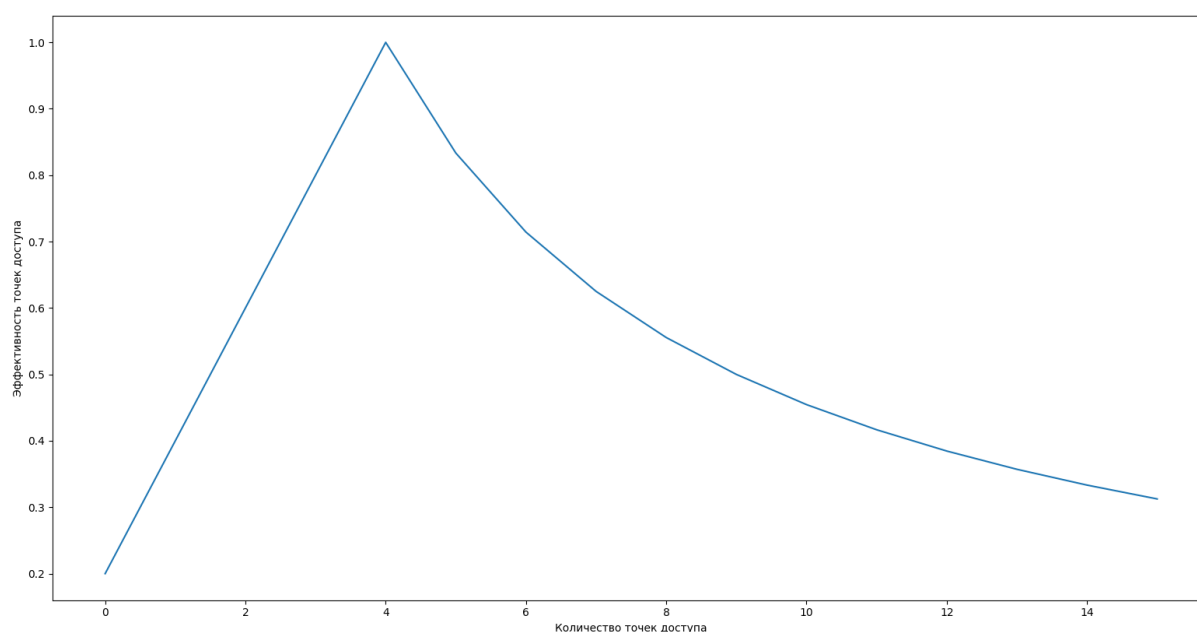


Рисунок 2.5 – График эффективности точек доступа Li-Fi

Исходя из предоставленных данных таблицы и графика, можно сделать вывод, что использование 5 точек доступа Li-Fi будет достаточным для обеспечения покрытия всего конференц-зала, рассчитанного на 70-80 человек, с площадью 96 м<sup>2</sup>.

Каждая точка доступа Oledcomm LiFiMAX, согласно таблице, обеспечивает распространение сигнала до 16 пользователей на площади 28 м<sup>2</sup>. Учитывая, что конференц-зал имеет площадь 96 м<sup>2</sup>, мы можем разместить 5 точек доступа таким образом, чтобы покрыть всю площадь.

Согласно рисунку 2.6, мы можем расположить точки доступа равномерно по всему конференц-залу, обеспечивая перекрывающуюся зону покрытия между ними. Это позволит гарантировать стабильное и надежное соединение для всех пользователей в любой части зала.

Таким образом, с использованием 5 точек доступа Li-Fi, размещенных в соответствии с рисунком 2.6, мы можем обеспечить полное покрытие



конференц-зала и обслуживание ожидаемого числа пользователей. Каждая точка доступа будет обслуживать свою зону покрытия, и перекрытие между ними обеспечит плавный переход и поддержку связи при перемещении пользователей по залу.

Такое размещение точек доступа также обеспечит надежность сети Li-Fi, поскольку если одна из точек доступа выйдет из строя или испытывает проблемы, остальные 4 точки смогут продолжать обслуживание пользователей и поддерживать связь в зоне своего покрытия.

Таким образом, использование 5 точек доступа Li-Fi, размещенных в соответствии с рисунком 2.6, обеспечит достаточное покрытие и надежность связи для конференц-зала.

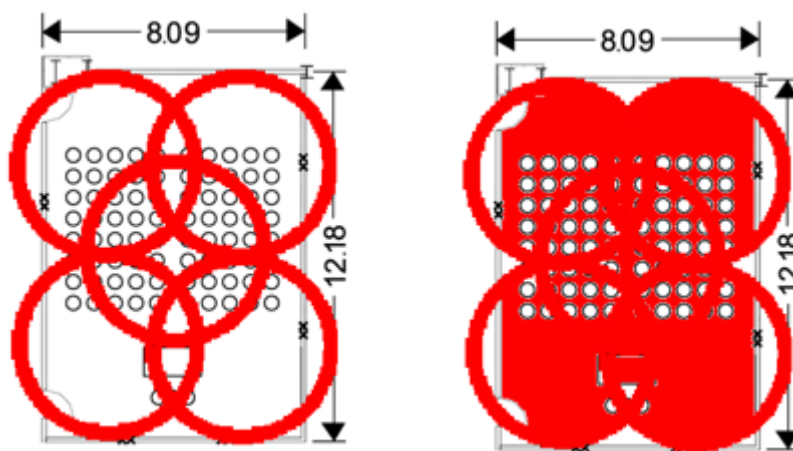


Рисунок 2.6 – Зона покрытия точек доступа, слева – для каждой отдельной точки, справа – общая

### 3. РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Определение и использование оптимальных методов передачи данных в системах Li-Fi является сложной задачей, и оно зависит от различных факторов, включая конкретные характеристики системы, требования к производительности и ограничения среды передачи.

Теорема Шеннона-Хартли (теорема о пропускной способности канала связи) была разработана Клодом Шенноном в 1948 году и впоследствии уточнена Ральфом Хартли. Она является одной из основных теорем в области информационной теории и имеет важное значение при анализе и проектировании коммуникационных систем.

Суть теоремы состоит в том, что существует определенная максимально достижимая пропускная способность канала связи при заданных условиях ширины полосы и уровне шума. Эта максимально достижимая пропускная способность называется ёмкостью канала. Согласно этой теореме, максимально достижимая пропускная способность канала (в битах в секунду) определяется следующей формулой:

$$C = B * \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (3.1)$$

#### 3.1 Расчет ширины полосы пропускания

Ширина полосы пропускания для системы Li-Fi обычно ограничена спектром излучения светодиодов. В случае системы Li-Fi от компании Oledcomm, используемой в продукте LiFiMAX, светодиоды работают на частоте около 40 МГц и используются спектральные линии с длинами волн от 400 нм до 750 нм. В данной системе используются OLED-светодиоды, которые позволяют создавать тонкие и гибкие светодиодные панели с высокой яркостью и контрастностью.

OLEDComm LiFi-MAX поддерживает три канала передачи данных, соответствующих цветам света: красный, зеленый и синий. Каждый канал предназначен для передачи определенного диапазона частот и может использоваться независимо от других каналов.

| Цвет       | Диапазон длин волн, нм | Диапазон частот, ТГц |
|------------|------------------------|----------------------|
| Фиолетовый | 380—440                | 790—680              |
| Синий      | 440—485                | 680—620              |
| Голубой    | 485—500                | 620—600              |
| Зелёный    | 500—565                | 600—530              |
| Жёлтый     | 565—590                | 530—510              |
| Оранжевый  | 590—625                | 510—480              |
| Красный    | 625—740                | 480—400              |

Рисунок 3.1 – Диапазоны длин волн и частоты видимого спектра

Из рисунка 3.1 следует, что полоса частот для красного цвета составляет 80 ТГц, для зеленого цвета - 70 ТГц, а для синего цвета - 60 ТГц. Общая пропускная способность системы Li-Fi можно определить путем сложения пропускных способностей каждой полосы частот.

Таким образом, общая пропускная способность системы Li-Fi будет равна сумме пропускных способностей для каждого цвета:

$$B = B_R + B_G + B_B = 80 + 70 + 60 = 210 \text{ ТГц} \quad (3.2)$$

Данное значение верно, однако на практике используют доминирующие длины волн из-за их большей интенсивности.

$$B_{R,G,B} = \frac{c}{\lambda_{min}} - \frac{c}{\lambda_{max}} \quad (3.3)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме(м/с)

$\lambda_{min}$  – минимальная длина волны определенного цвета

$\lambda_{max}$  - максимальная длина волны определенного цвета

Отсюда следует что:

$$B_R = \frac{c}{\lambda_{min}} - \frac{c}{\lambda_{max}} = \frac{3 * 10^8}{460 * 10^{-9}} - \frac{3 * 10^8}{465 * 10^{-9}} = 7 \text{ ТГц},$$

$$B_B = \frac{c}{\lambda_{min}} - \frac{c}{\lambda_{max}} = \frac{3 * 10^8}{530 * 10^{-9}} - \frac{3 * 10^8}{535 * 10^{-9}} = 5,3 \text{ ТГц},$$

$$B_G = \frac{c}{\lambda_{min}} - \frac{c}{\lambda_{max}} = \frac{3 * 10^8}{625 * 10^{-9}} - \frac{3 * 10^8}{630 * 10^{-9}} = 3,8 \text{ ТГц},$$

$$B = B_R + B_B + B_G = 7 + 5,3 + 3,8 = 16,1 \text{ ТГц}$$

### 3.2 Расчет отношения сигнал/шум

Источником сигнала у систем Li-Fi являются LED-лампы. Мощность сигнала  $S$ , в данном случае, световая мощность оценивается световым потоком  $\Phi$ . Мощность светодиодов точки доступа Oledcomm Li-FiMAX составляет 10 мВт. Рассчитать световой поток можно умножив мощность передатчика  $P_n$  на характеристику лампы  $\eta$ . В среднем характеристика для oled ламп составляет 60-80 лм/Вт. Отсюда следует что:

$$S_0 = \Phi_0 = P_n * \eta = 8 \text{ лм} \quad (3.4)$$

где  $S_0$  – начальная мощность сигнала,  
 $\Phi_0$  – начальное значение светового потока(лм),  
 $P_n$  – мощность передатчика(Вт),  
 $\eta$  – характеристика лампы(лм/Вт).

Основным источником помех и шумов беспроводных сетей на базе светового источника являются естественная и искусственная освещение, отражение света, в том числе интерференция, загрязненность среды передачи. Освещенность равна световому потоку, расчет идет по формуле:

$$E = d\Phi/d\sigma \quad (3.5)$$

где  $\sigma$  – участок поверхности

Начальное значение светового потока  $\Phi_0$  можно выразить как:  
Люкс как единица освещенности, поскольку 1 люкс равен освещенности.  
Площадь поверхности, на которую падает световой поток, составляет 1 м<sup>2</sup>.  
излучение, равное м 1 лм.

$$E_0 = \Phi_0/1 = 8/1 = 8 \text{ лк} \quad (3.6)$$

Зная исходное значение светового потока, можно определить силу света.

$$I = \Phi_0/\omega \quad (3.7)$$

где  $\omega$  – телесный угол

Также известно, что телесный угол при вершине прямого кругового конуса с углом раствора  $2\cdot\alpha$  равен:

$$\omega = 2\pi * (1 - \cos(\alpha)) \quad (3.8)$$

где  $\alpha$  – угол раствора конуса, в нашем случае это угол раствора светового конуса, или иными словами угол рассеивания света.

Угол раствора у систем li-fi может варьироваться от 10 до 60 градусов, в зависимости от высоты и площади покрытия. Можно рассчитать угол

раствора, если знать радиус площади основания конуса, а также ось конуса. В случае li-fi систем радиусом площади основания выступает радиус зоны покрытия, а высоту можно считать осью конуса. Высота конференц-зала составляет как минимум 3м, максимум – 12м, а площадь покрытия по характеристикам от Oledcomm составляет 28 м<sup>2</sup>.

Следовательно: Н - 3м, S – 28 м<sup>2</sup>

Площадь круга:

$$S = \pi * R^2 \quad (3.9)$$

Следовательно:

$$R = \sqrt{(S/\pi)} = \sqrt{(28/\pi)} \quad (3.10)$$

Отсюда выходит гипотенуза:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{(\sqrt{(28/\pi)})^2 + 3^2} = 4.23 \quad (3.11)$$

Угол раствора от верхней точки будет равен:

$$\arcsin(2,95/4,23) = 40,44^\circ \quad (3.12)$$

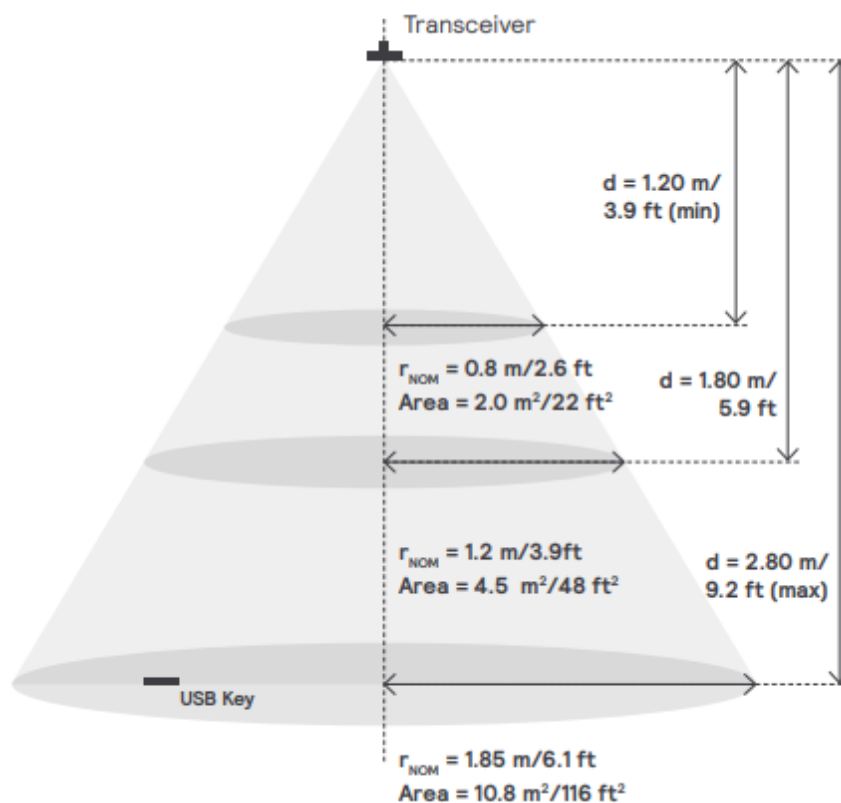


Рисунок 3.2 – Распространение сигнала по углу раствора конуса

$$I = \frac{\Phi_0}{\omega} = \frac{\Phi_0}{2\pi*(1-\cos(\alpha))} = \frac{8}{2\pi*(1-\cos(40,44))} = 5,32 \text{ кд} \quad (3.13)$$

Исходя из данных выше, зависимость мощности передатчика данных Li-Fi в той или иной точке оптической мощности может быть определена, в зависимости от расстояния и угла до приемного устройство по формуле:

$$S_n = \frac{I}{r_n^2} * \cos(i_n) \quad (3.14)$$

где  $r_n$  – расстояние между передатчиком и приемником Li-Fi, м;

$i_n$  – угол падения лучей света относительно нормали передатчика к приемнику Li-Fi, рад.

Уровень загрязненности и запыления не имеет значительного влияние на передачу данных по каналу связи, при соблюдении всех санитарно-гигиенических норм в канале не будет значимых шумов, поэтому шумами от загрязнения в расчете можно пренебречь. Следовательно мощность шума  $N$  будет складываться из естественной освещенности  $E_{\text{ест}}$ , искусственной освещенности  $E_{\text{иск}}$  и отраженной освещенности  $E_{\text{отр}}$ .

Отсюда следует:

$$N = E_{\text{ест}} + E_{\text{иск}} + E_{\text{отр}} = \frac{I}{r_{\text{ест}}^2} * \cos(i_{\text{ест}}) + \frac{I}{r_{\text{иск}}^2} * \cos(i_{\text{иск}}) + \frac{I}{r_{\text{отр}}^2} * \cos(i_{\text{отр}}) \quad (3.15)$$

где  $I_{\text{ест}}$  - сила света естественных источников света, кд;

$r_{\text{ест}}^2$ - 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 искусственных источников света, кд;

$r_{\text{иск}}^2$ - 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;

$r_{\text{отр}}^2$ -расстояние до источника отраженного света, м;

$i_{\text{отр}}$  -угол падения лучей отраженного света относительно нормали к поверхности, ра

В среднем, в нормальных условиях  $E_{\text{ест}}$  в помещении будет равна 100 лм,  $E_{\text{иск}}$  же можно подобрать по государственным стандартам используя таблицу 3.1

Таблица 3.1 - Нормы освещения помещений административных зданий: СНиП РК 2.04-05-2003

| Тип помещения   | Показатель освещенности, лм |
|---|-----------------------------|
| Кабинеты, рабочие комнаты, офисы предпринимательства          | 300                         |
| Проектные залы и комнаты конструкторские, чертежное бюро      | 500                         |
| Помещения для посетителей                                     | 400                         |
| Помещения для работы с дисплеями и видеоматериалами, залы ЭВМ | 400                         |
| Конфернц-залы, залы заседаний                                 | 200                         |
| Кулуары(фойе)   | 150                         |
| Читательские залы   | 400                         |

Согласно изложенным правилам и нормам, расчётное значение средневзвешенного коэффициента отражения внутренних поверхностей помещений в нормальных условиях следует принимать равным 0.5, что дает нам основания использовать:

$$E_{отр} = E_{иск}/2 \quad (3.16)$$

### 3.3 Конечные расчеты и графики

Конечные расчеты пропускной способности мы можем получить, подставив ранее выведенные формулы для расчета ширины полосы пропускания, а также отношения сигнал/шум. Изначальная формула(3.1) получает вид:

$$C = (B_R + B_B + B_G) * \log_2 \left( 1 + \frac{I * \cos(i_n)}{(E_{ест} + E_{иск} + E_{отр}) * r_n^2} \right) \quad (3.17)$$

Подстав все значение получим:

$$C = (7 + 5,3 + 3,8) * 10^{12} * \log_2 \left( 1 + \frac{5,32 * \cos(45^\circ)}{(100 + 200 + 100) * 3^2} \right) = 24,2 \text{ Гб/с}$$

Для наглядности и исследовательских целей было написано несколько скриптов на python, которые строят сравнительные графики для анализа и поиска оптимальных условий для наибольшей пропускной способности. Код этих скриптов доступен в приложениях Б, В, Г и Д

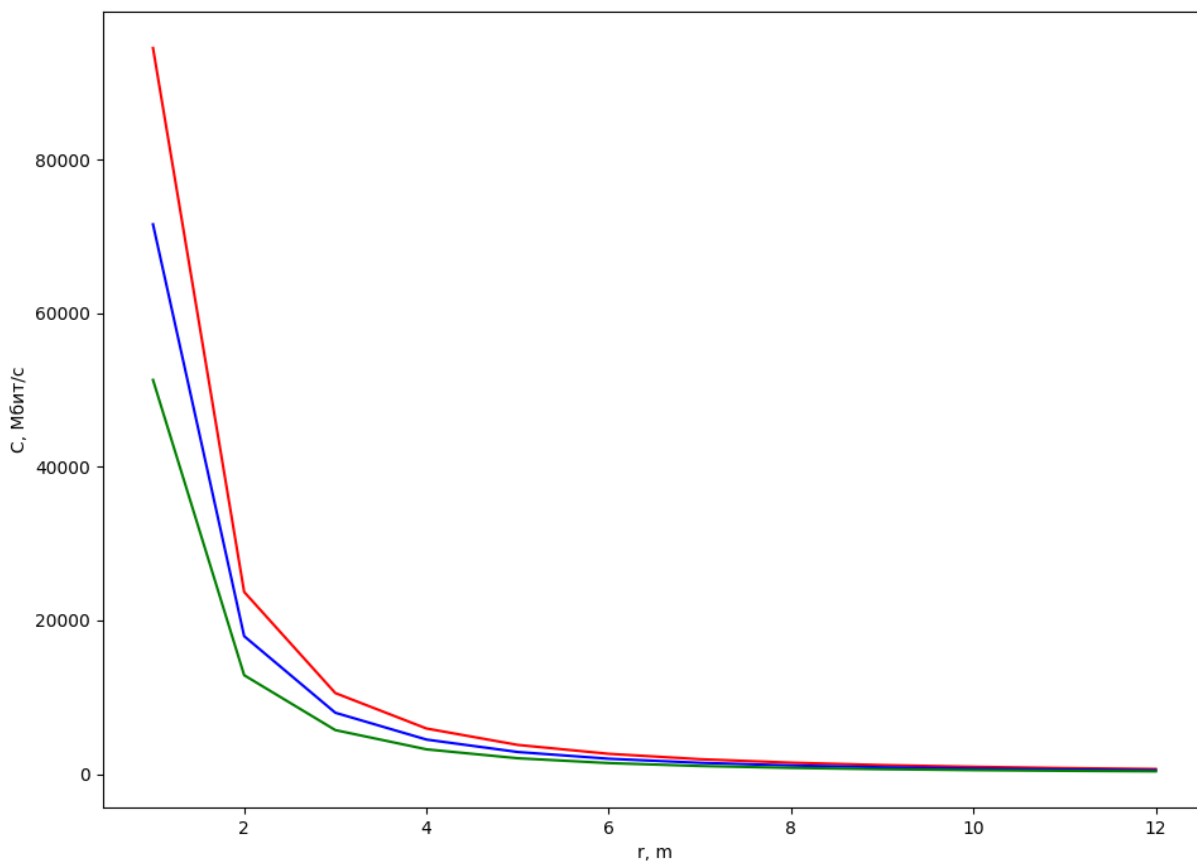


Рисунок 3.3 – Зависимость пропускной способности красного, синего и зеленого цвета от расстояния между передатчиком и приемником

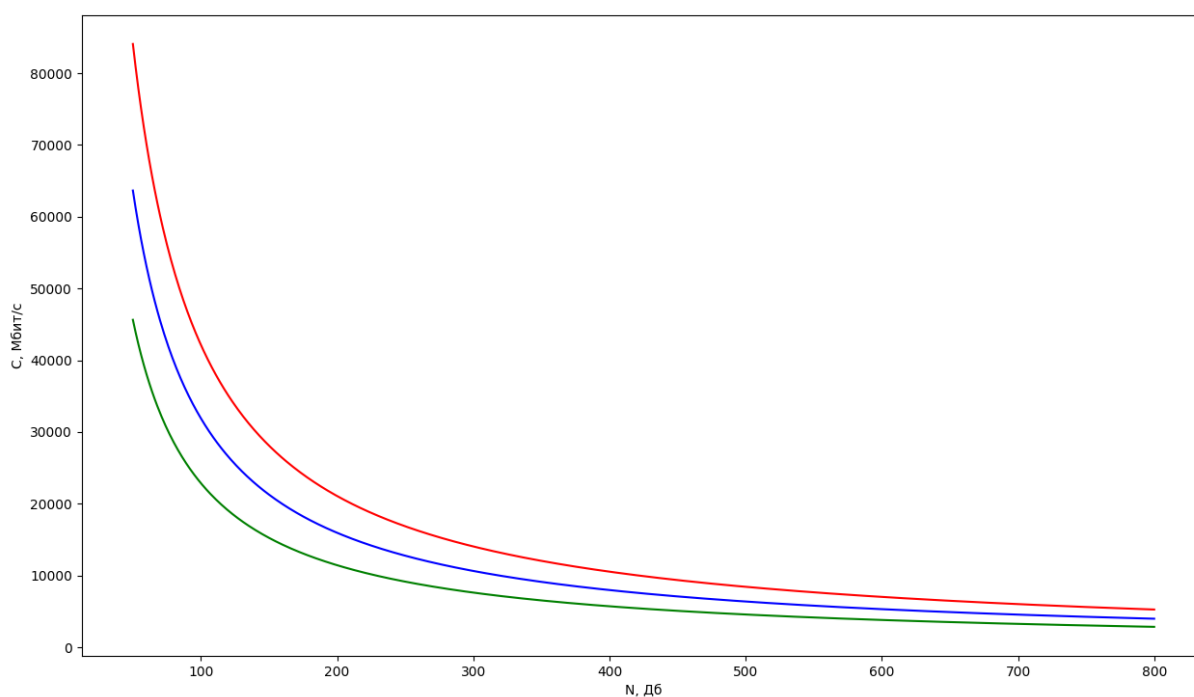


Рисунок 3.5 – Зависимость пропускной способности красного, синего и зеленого света от мощности шума



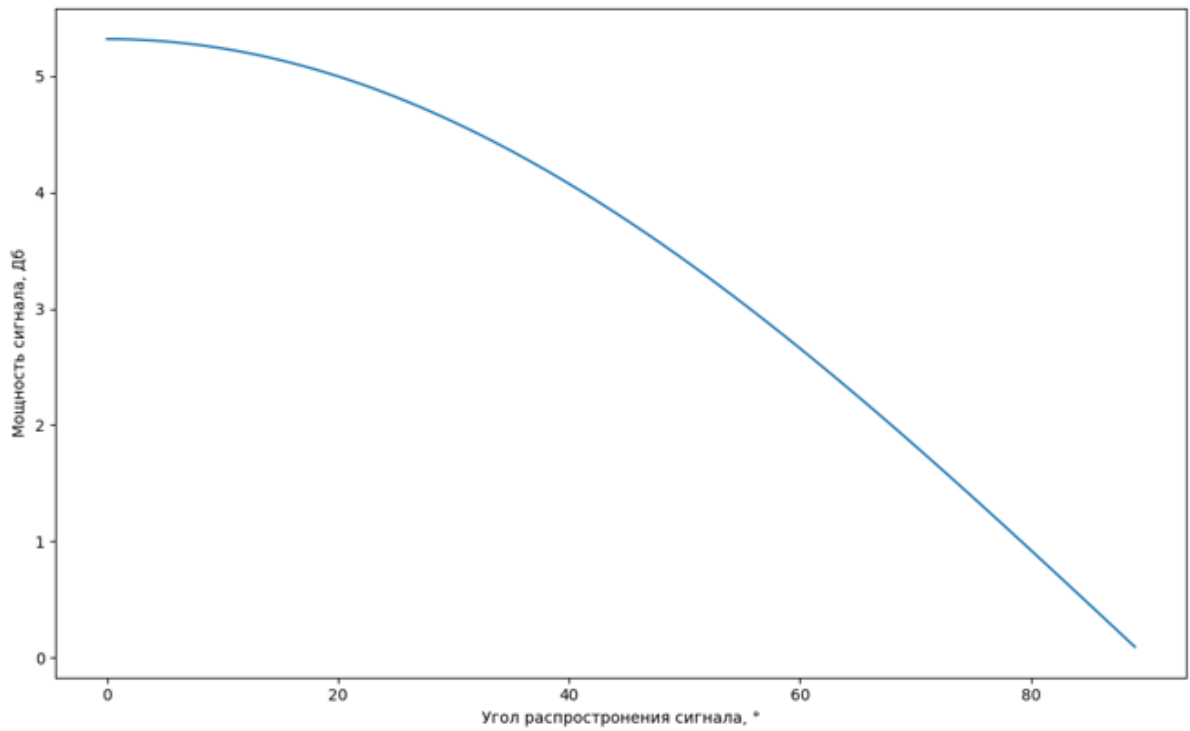


Рисунок 3.6 – Зависимость мощности сигнала от угла распространения

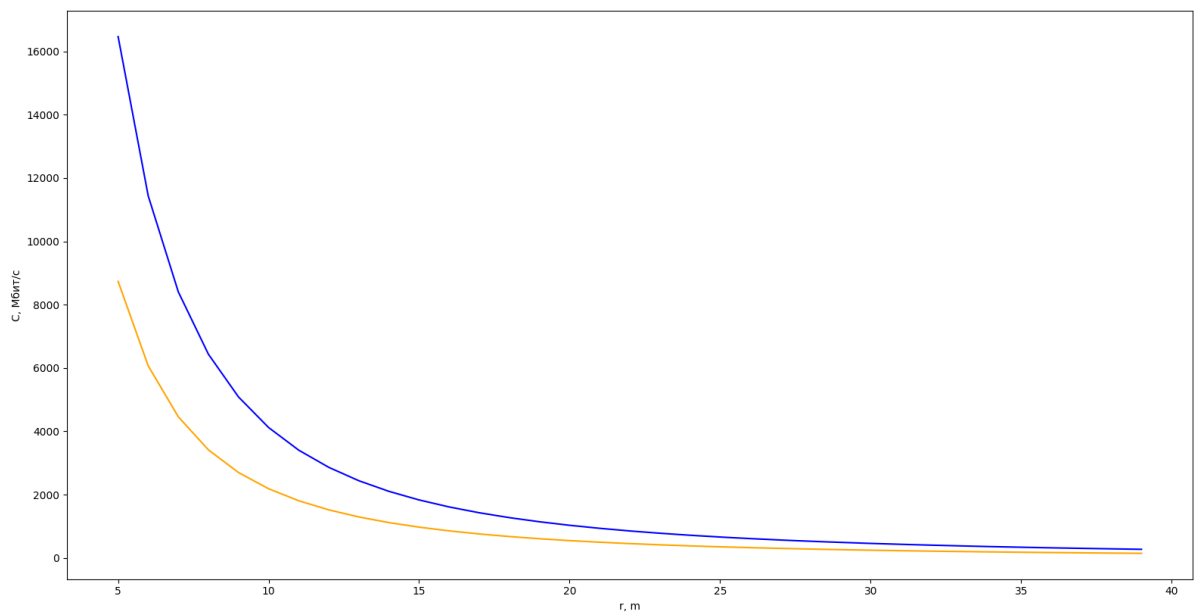


Рисунок 3.7 – Сравнение сигналов на расстоянии с наименьшими(синий) и наибольшими(желтый) шумами

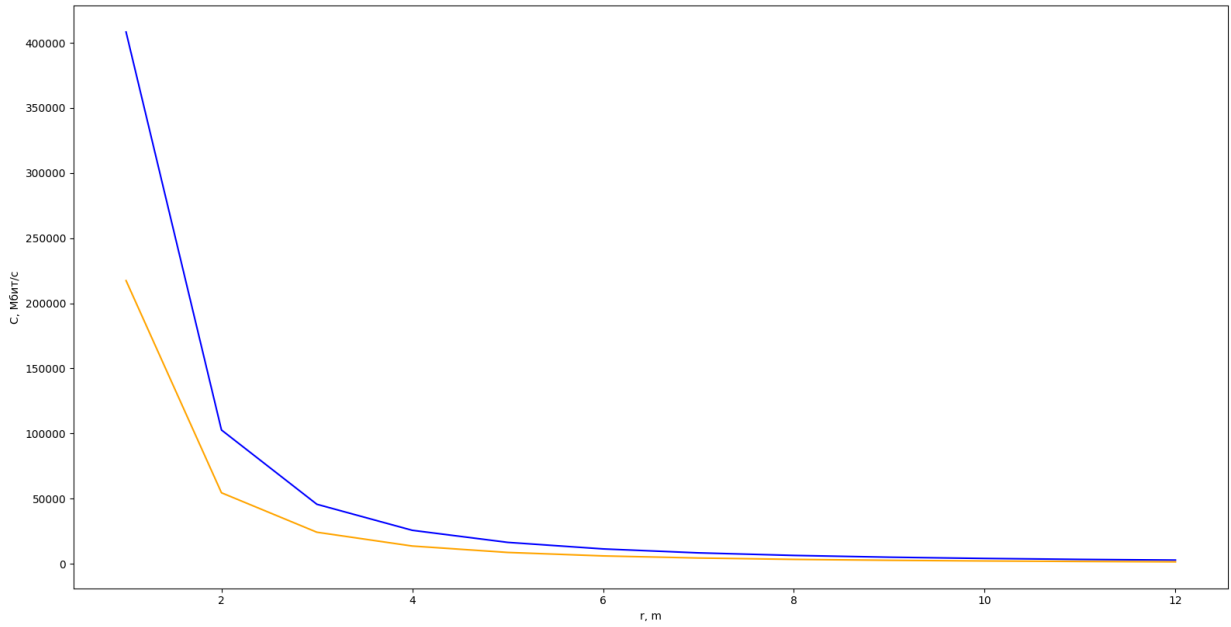


Рисунок 3.8 - Сравнение сигналов с наименьшими(синий) и наибольшими(желтый) шумами в зоне видимости Oledcomm LiFiMAX

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе была рассмотрена технология Li-Fi, а также организация сети Li-Fi. Вначале были рассмотрены теоретические основы технологии Li-Fi. Был представлен принцип работы Li-Fi, а также были изучены преимущества Li-Fi, такие как высокая скорость передачи данных, большая пропускная способность и высокий уровень безопасности. Сравнительный анализ с Wi-Fi показал превосходство Li-Fi во многих аспектах, что делает его привлекательным решением для организации сети беспроводной связи. Местом организации сети беспроводной связи Li-Fi был выбран конференц-зал, рассчитанный на 70-80 человек и имеющий площадь 96 м<sup>2</sup>. Анализ особенностей конференц-зала позволил определить оптимальное количество точек доступа Li-Fi и их размещение.

В ходе сравнительного анализа различных предложений на рынке, было принято решение о выборе продукта компании "Oledcomm Li-FiMAX" для реализации сети Li-Fi в конференц-зале. Этот выбор был обоснован наилучшим соотношением цены и качества, а также соответствием требованиям и характеристикам места организации.

В разделе обзора оборудования была представлена более подробная информация о системе Oledcomm Li-FiMAX. Были описаны характеристики передатчика и приемника, их технические возможности и спецификации. Также были рассмотрены особенности размещения оборудования в конференц-зале, учитывая требования и характеристики помещения.

В расчетной части работы был проведен расчет пропускной способности канала связи Li-Fi. Были учтены такие параметры, как скорость передачи данных, количество точек доступа и пользователей, зоны покрытия и другие характеристики системы. Расчет позволил определить пропускную способность канала и убедиться в его соответствии требуемым условиям и потребностям пользователей.

Кроме того, для наглядного сравнения зависимости пропускной способности от расстояния между передатчиком и приемником был разработан небольшой скрипт на языке программирования Python. С помощью этого скрипта можно было исследовать и визуализировать зависимость пропускной способности от различных характеристик. Это позволяло лучше понять, как расстояние влияет на качество и скорость передачи данных в системе Li-Fi.

Таким образом, в данной дипломной работе были рассмотрены технология Li-Fi и организация сети Li-Fi, проведен сравнительный анализ и выбрано оптимальное решение, а также произведены расчеты и разработаны скрипты для наглядного сравнения характеристик связи Li-Fi. Все эти шаги способствовали более полному и глубокому пониманию технологии Li-Fi и ее применения в конкретном контексте конференц-зала

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Harald Haas, Li-Fi Technology: Data Transmission through Light, Proceedings of the IEEE, Volume 101, Issue 8, August 2013.
2. Zeng, L., Ghassemlooy, Z., Lin, B., Wu, X., & Zhang, M. (2016). Optical Wireless Communications: An Emerging Technology for Future Indoor Wireless Systems. IEEE Communications Magazine, 54(2), 50-57.
3. Chi, Y., & Haas, H. (2015). Performance of spatial modulation MIMO optical wireless communications in indoor environments. IEEE Transactions on Communications, 63(11), 4091-4103.
4. Khalid, A. M., Cossu, G., Corsini, R., & Ciaramella, E. (2017). A Survey on LED Non-Line-of-Sight Propagation Channels. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19(3), 1673-1690.
5. Лебедев, А.В., Логинов, Д.В. (2017). Технология Li-Fi. Современные проблемы науки и образования, 3, 14-20.
6. Крючков, Д.А. (2017). Li-Fi: перспективы применения в беспроводных коммуникационных системах. Вестник Волгоградского государственного технического университета, 20(1), 42-47.
7. Лебедев, А.В., Логинов, Д.В. (2016). Сравнительный анализ технологий беспроводной связи Wi-Fi и Li-Fi. Информационно-управляющие системы, 6, 54-57.
8. Шабаршин, С.В., Лебедев, А.В. (2019). Анализ применимости технологии Li-Fi в промышленных сетях. Труды Института системного программирования РАН, 27, 317-328.
9. Крючков, Д.А., Лебедев, А.В. (2017). Особенности использования технологии Li-Fi в сетях связи с большой плотностью устройств. Вестник Казанского технического университета, 20(21), 218-222.
10. Chen, X., & Haas, H. (2017). Li-Fi for indoor networking: possibilities and limitations. IEEE Communications Magazine, 55(2), 33-39.
11. Rani, M., Singh, G., & Kumar, N. (2018). A Survey on Visible Light Communication: Technology, Challenges, and Applications. IEEE Access, 6, 7586-7615.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Код для расчета эффективности точек доступа

```
import matplotlib.pyplot as plt

a = []
b = []
c = []
aa = 0
for i in range(16):
    aa+=16
    a.append(aa)
    print(a)
for i in a:
    if i<80:
        bb = i/80
        b.append(bb)
    else:
        bb = 80/i
        b.append(bb)
for i in range(16):
    c.append(i)
plt.plot(c,b)
plt.xlabel("Количество точек доступа")
plt.ylabel("Эффективность точек доступа")
plt.show()
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Код для расчета полосы пропускания

```
import math
import matplotlib.pyplot as plt

B1 = 7
B2 = 5.3
B3 = 3.8
B = [B1,B2,B3]
S = 5.32*math.cos(math.pi/4)
N = 400
a = []
b1 = []
b2 = []
b3 = []

for i in range(1,13):
    a.append(i)
for i in range(1,13):
    C = B1*math.log2(1+S/(N*i**2))*10**6
    print(C)
    b1.append(C)
for i in range(1,13):
    C = B2*math.log2(1+S/(N*i**2))*10**6
    print(C)
    b2.append(C)
for i in range(1,13):
    C = B3*math.log2(1+S/(N*i**2))*10**6
    print(C)
    b3.append(C)

plt.plot(a,b1, color = "red")
plt.plot(a,b2, color = "blue")
plt.plot(a,b3, color = "green")
plt.xlabel("r, м")
plt.ylabel("C, Мбит/с")
plt.plot
plt.show()
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Код для расчета влияния шумов на пропускную способность

```
import math
import matplotlib.pyplot as plt

B1 = 7
B2 = 5.3
B3 = 3.8
B = [B1,B2,B3]
S = 5.32*math.cos(math.pi/4)
N = 400
a = []
b1 = []
b2 = []
b3 = []
for i in range(50,801):
    a.append(i)

for i in range(50,801):
    C = B1*math.log2(1+S/(i*3**2))*10**6
    print(C)
    b1.append(C)
for i in range(50,801):
    C = B2*math.log2(1+S/(i*3**2))*10**6
    print(C)
    b2.append(C)
for i in range(50,801):
    C = B3*math.log2(1+S/(i*3**2))*10**6
    print(C)
    b3.append(C)

plt.plot(a,b1, color = "red")
plt.plot(a,b2, color = "blue")
plt.plot(a,b3, color = "green")
plt.xlabel("N, Дб")
plt.ylabel("C, Мбит/с")
plt.plot
plt.show()
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Код для расчета зависимости сигнала от угла распространения

```
import math
import matplotlib.pyplot as plt

I = 5.32
a = []
b = []
c = []
aa = 0
for i in range(90):

    a.append(I*math.cos(math.radians(i)))
print(a)

for i in range(90):
    c.append(i)
plt.plot(c,a)
plt.ylabel("Мощность сигнала, Дб")
plt.xlabel("Угол распространения сигнала, °")
plt.show()
```



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Код для расчета сравнения сигналов

```
import math
import matplotlib.pyplot as plt

B1 = 16.1
S = 5.32
s = 5.32*math.cos(math.pi/4)
N = 400
n = 300
a = []
b1 = []
b2 = []
b3 = []

for i in range(1,13):
    a.append(i)
for i in range(1,13):
    C = B1*math.log2(1+S/(n*i**2))*10**6
    print(C)
    b1.append(C)
for i in range(1,13):
    C = B1*math.log2(1+s/(N*i**2))*10**6
    print(C)
    b2.append(C)

plt.plot(a,b1, color = "blue")
plt.plot(a,b2, color = "orange")
plt.xlabel("r, м")
plt.ylabel("C, Мбит/с")
plt.plot
plt.show()
```

**РЕЦЕНЗИЯ**

на дипломную работу

Салихожаев Равиль Кудратович

6B06201 - Телекоммуникация

Тема: «Организация сети беспроводной связи Li-Fi»

В настоящей дипломной работе представлены 3 основных раздела, текст которой изложен на 37 страницах, на которых имеется 20 рисунков, 7 таблиц и 17 формул. При написании работы использовалось 11 источников.

Организация сети беспроводной связи Li-Fi является актуальной в современном мире, где потребность в скоростной передаче данных становится все более востребованной.

В первой главе производился теоретический обзор технологии Li-Fi. Были рассмотрены краткая история, принцип работы, источники света Li-Fi, зона видимости, согласованный режим, преимущества и недостатки, а также сравнительный анализ технологии Li-Fi с Wi-Fi.

Во второй главе было рассмотрено оборудование системы Li-Fi. Было выбрано оборудование, место и размещение оборудования.

В третьей главе был проведен расчет пропускной способности. Который включал расчет ширины полосы пропускания, расчет отношения сигнал/шум и были предоставлены графики.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ.

Таким образом, дипломная работа *Салихожаева Равиля Кудратовича* актуальна, отличается значимой практической ценностью, выполнена по всем требованиям ГОСТ на должном научном уровне. Автор заслуживает оценки 90/А-/«отлично».

Рецензент

Доктор технических наук,  
профессор

Якубова М.З.

«2» июня 2023 г.



**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломную работу

Салихожаев Равиль Кудратович

6B06201 - Телекоммуникация

Тема: «Организация сети беспроводной связи Li-Fi»

Структура дипломной работы включает в себя: введение, три основных раздела, заключение, список использованной литературы, заключение и приложение.

Организация сети беспроводной связи Li-Fi является актуальной в современном мире, где потребность в скоростной передаче данных становится все более востребованной.

В первой главе производился теоретический обзор технологии Li-Fi. Были рассмотрены краткая история, принцип работы, источники света Li-Fi, зона видимости, согласованный режим, преимущества и недостатки, а также сравнительный анализ технологии Li-Fi с Wi-Fi.

Во второй главе было рассмотрено оборудование системы Li-Fi. Было выбрано оборудование, место и размещение оборудования.

В третьей главе был проведен расчет пропускной способности. Который включал расчет ширины полосы пропускания, расчет отношения сигнал/шум и были предоставлены графики.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ.

Дипломная работа выполнена на оценку 90/A-/«Отлично», а дипломант, **Салихожаев Равиль Кудратович** достоин степени бакалавра по специальности 6B06201 – Телекоммуникация.

Научный руководитель  
Кандидат физ-мат наук,  
ассоциированный профессор  
Жунусов К.Х.



17 06 2023г.

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Салихожаев Равиль Кудратович

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Организация сети беспроводной связи Li-Fi

**Научный руководитель:** Канат Жунусов

**Коэффициент Подобия 1:** 2.3

**Коэффициент Подобия 2:** 0

**Микропробелы:** 0

**Знаки из других алфавитов:** 26

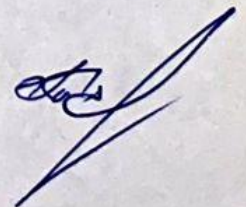
**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата 07.06.2023



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Салихожаев Равиль Кудратович**

**Тақырыбы: Организация сети беспроводной связи Li-Fi**

**Жетекшісі: Канат Жунусов**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.3**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 0**

**Дәйексөз (35): 1.2**

**Әріптерді ауыстыру: 26**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 0**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

Күні 07.06.2023

Кафедра меңгерушісі



*[Handwritten signature]*

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Салихожаев Равиль Кудратович

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Организация сети беспроводной связи Li-Fi

**Научный руководитель:** Канат Жунусов

**Коэффициент Подобия 1:** 2.3

**Коэффициент Подобия 2:** 0

**Микропробелы:** 0

**Знаки из других алфавитов:** 26

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

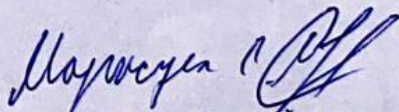
Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

1.06.2023.  
Дата

  
проверяющий эксперт