МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА

Кафедра____Телекоммуникационных сетей и систем

«Допущен к защите»
Заведующая кафедрой
_Темырканова Э.К.__доктор PhD_____
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ «_____»_____**20__ г.**
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Проектирование защищенного скоростного канала связи используя технологию VLC, li-fi
Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации_____
Выполнил (а) _____Крючек Н. В._____Рэт – 16 - 5_____
(Фамилия и инициалы) группа
Научный руководитель_____Чайко Е.В. доктор PhD_____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20___г.
(подпись)

Консультанты:

по технической части:_____доцент Урусова Т. А._____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20___г.
(подпись)

по экономической части:
_____к.э.н. профессор, доктор Ибришев Н. Н_____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20___г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
_____доцент Бекбасаров Ш. Ш_____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20___г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
_____доцент Урусова Т. А. _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20___г.
(подпись)

Нормоконтролер:_____доцент MOS Гармашова Ю. М_____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20___г.
(подпись)

Рецензент:_____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20___г.
(подпись)

Алматы 2020 г

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА

Институт космической инженерии и телекоммуникаций (ИКИТК)
Специальность Радиотехника, электроника и телекоммуникаций
Кафедра Телекоммуникационных сетей и систем

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент _____Крючек Никита Владимирович_____
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта__Проектирование защищенного скоростного канала связи используя технологию VLC, li-fi._____

утверждена приказом ректора № 147 от «_11__ »11 2019 г.

Срок сдачи законченной работы «25»_05_ 2020 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта:

Использование видимого света в качестве несущей сигнала.
Проектирование сети VLC в отделении банка с Д х Ш = 18 х 12 (м).
Использование волоконно-оптического кабеля марки ОКБ-М8П-10-0,22-8 для проектирования ВОЛС.
Зависимость пропускной способности сети Li-Fi от расстояния при различных показателях силы света.

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

1 Анализ и структура сети технологии Visible Light Communication_____
1.1 Принцип работы технологии VLC_____
1.2 Архитектура VLC_____
1.3 Методы модуляции VLC_____
2 Анализ оборудования на основе VLC_____
3 Расчет пропускной способности сетей Li-Fi_____
4 Расчет волоконно-оптической линии связи_____
5 Безопасность жизнедеятельности_____
6 Технико-экономическое обоснование_____

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Цели и задачи дипломного проекта
2. Актуальность
3. Географическая карта территории РК с показанной ВОЛС и промежуточными необслуживаемыми регенерационными станциями
4. Схема помещения с указанными размерами и высотой потолка, местами расположения передающего светодиодного модуля и приемного кремниевого фотодиода
5. Внешний вид светодиодного модуля и кремниевого фотодиода, их характеристики
6. График областей пропускной способности сетей Li-Fi при разных параметрах силы света и зависимость пропускной способности сети VLC от расстояния
7. Безопасность жизнедеятельности
8. Технико-экономическое обоснование
9. Заключение

Рекомендуемая основная литература

1 Неволин, Д. Г. Помехоустойчивость беспроводных оптических локальных сетей передачи данных на базе светодиодов видимого излучения: монография/Д. Г. Неволин, И. П. Петрусь. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017.

2 Архипов А. Проектирование и разработка энергосберегающих светодиодных систем освещения / А. Архипов // Полупроводниковая светотехника. – 2009. – № 2. – С. 42–45.

3 Гальчина Н. А. Мощные белые светодиоды и модули на их основе для целей освещения / Н. А. Гальчина [и др.] // Светотехника. – 2007. – № 2. – С. 26–28.

4 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.

5 Дмитриев А. Л. Оптические системы передачи информации: учеб пособие / А.Л,Дмитриев. – СПб.: СПбГУИТМО, 2007. – 65 с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Сец часть	Урусова Т.А.	25.05.2020	Урусова
Экономика	Ибришев Н.Н	25.05.2020	Ибришев
БЖД	Бекбасаров Ш. Ш	25.05.2020	Бекбасаров
Выч. Техника	Урусова Т.А	25.05.2020	Урусова
Нормоконтроль	Гармашова Ю.М.	10.06-12.06.20	Гармашова

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Анализ и структура сети технологии Visible Light Communication	13.01.-15.02.2020	
2	Обзор методов модуляции оптического сигнала	25.01.-30.01.20	
3	Анализ оборудования на основе VLC	2.02-20.02.2020	
4	Выбор подходящего оборудования для установки сети	22.02-01.03.2020	
5	Расчет пропускной способности	02.3.20-01.04.20	
6	Расчет волоконно-оптической линии связи	2.4.20-20.04.20	
7	Безопасность жизнедеятельности	10.04.20-25.05.20	
8	Технико-экономическое обоснование	1.04.20-25.05-20	

Дата выдачи задания «_29_»_____сентября____2019 г.

Заведующий кафедрой_____ Темырканова Э.К_
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ __Чайко Е.В.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к
исполнению студент _____ ___Крючек Н.В.___
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аңдатпа

Бұл тезисте біз банкті филиалдау үшін жарық байланысының көрінетін технологиясын қолдана отырып, жоғары жылдамдықтағы қауіпсіз желіні жобалап жатырмыз. Нұр-Сұлтан - Алматы қалалары арасында ТОБЖ құру үшін техникалық талдау жасалды. Деректерді беру желісінің техникалық есептері жасалды. Осы мақсаттар мен міндеттер үшін жоғары технологиялық жабдық таңдалды.

«Тіршілік әрекетінің қауіпсіздігі» бөлімінде қажетті ауа алмасу есептеледі, кондиционерлер таңдалады және ұсынылады.

Экономикалық бөлімде бизнес-жоспар ұсынылып, жобаның экономикалық тиімділігі есептеледі.

Аннотация

В данной дипломной работе осуществляется проектирование высокоскоростной защищенной сети используя технологию Visible light communication для отделения банка. Разработан технический анализ для установления ВОЛС между городами Нур-Султан – Алматы. Произведены технические расчеты сети передачи данных. Подобрано высокотехнологичное оборудование для реализации проекта.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» вычислен необходимый воздухообмен, подобран и рекомендован кондиционер.

В экономической части предложен бизнес-план и подсчитана экономическая эффективность проекта.

Annotation

In this diploma project, we are designing a high-speed secure network using visible light communication technology to branch a bank. A technical analysis has been developed to establish FOCL between the cities of Nur-Sultan - Almaty. The technical calculations of the data transmission network are made. High-tech equipment was selected for these goals and objectives.

In the section "Life Safety" the necessary air exchange is calculated, the air conditioner is selected and recommended.

In the economic part, a business plan is proposed and the economic efficiency of the project is calculat

Содержание

Введение 7
1 Анализ и структура сети технологии Visible Light Communication 9
1.1 Принцип работы технологии VLC 9
1.2 Применение VLC 10
1.3 Архитектура VLC 13
1.4 VLC стандартизация 18
1.5 Методы модуляции VLC 19
1.6 Открытые проблемы исследования VLC 25
2 Анализ оборудования на основе VLC 26
2.1 Выбор оборудования на основе VLC 26
2.2 Передающий модуль LiFi-X Access Point 31
2.3 Приемный модуль Li-fi XC 32
2.4 Программирование 35
3 Расчет пропускной способности сетей Li-Fi 36
4 Расчет волоконно-оптической линии связи 45
4.1Расчет параметров оптического кабеля 48
4.2 Расчет длины участка регенерации ВОЛС 50
4.3 Расчет помехозащищенности в когерентных ВОЛС 52
5 Безопасность жизнедеятельности 52
5.1 Анализ условий труда 53
5.2 Расчет микроклимата 55
5.3 Выбор сплит-системы 58
5.4 Заключение части безопасности жизнедеятельности 60
6 Финансовый план 60
6.1 Капитальные затраты 60
6.2 Расчет эксплуатационных расходов 61
6.3 Расчет материальных затрат 62
6.4 Расчет фонда оплаты труда 63
6.5 Расчет накладных расходов 65
6.6 Расчет экономического эффекта за один год от выбора оборудования для системы VLC 65
6.7 Расчет срока окупаемости 66
6.8 Выводы экономической части 66
Заключение 67
Список используемой литературы 68
Приложение А 69
Приложение Б Справка антиплагиата
Приложение В Электронная версия ДП и демонстрационные материалы (CD-R)
Приложение Г Раздаточные материалы (формат А4 – 15 листов)

Введение

Одним из главных способов скоростной передачи информации является беспроводная связь. На сегодняшний день по всему миру установлено более 1.5 миллиона радиомачт, а в 2017 году количество мобильных устройств превысило численность населения Земли и с каждым днем их становится все больше. Увеличение количества устройств, обращающихся к мобильным сетям, является основной причиной резкого увеличения трафика мобильных данных. Согласно данным «Cisco Visual Networking Index», спрос на мобильную связь увеличивается более чем на 50% в год. Ожидается что к 2022 году более половины из подключенных устройств будут мобильными, 70% IP-трафика будет приходиться на мобильные устройства, 80% интернет-трафика будет приходиться на видео, требующее высокоскоростной беспроводной связи со средней скоростью до 200 Мбит/с. А уже сейчас передается более 1000 терабайт цифровой информации каждый месяц. На данный момент массовой технологией доступа к Интернет-ресурсам и беспроводного соединения является «Wi-fi» (аббревиатура от «Wireless Fidelity» — беспроводная высокая точность) в основе принципа работы которой используются радиоволны. Так в различных сетевых стандартах «Wi-fi» применяются волны частотой от 2,4 до 5 Ггц. Новейшим и самым быстрым является стандарт 802.11n который обеспечивает скорость передачи данных до 140 Мбит/сек.

Но спектр доступных радиочастот ограничен и с увеличением количества потребителей появились такие проблемы как:

- эффективность. В условиях плотной городской застройки и использованием одних и тех же радиочастот возникают помехи и шумы из-за их интерферирования, связанная с малой полосой пропускания. КПД же радиомодемов не превышает 5% так как почти вся их энергия уходит в тепло;
- экономичность. Базовые Станции невероятно дороги в установке и обслуживании, а также потребляют огромное количество энергии, при этом большая ее часть уходит на их охлаждение, а не на передачу данных;
- безопасность. Главным видом обеспечения беспроводной связи в офисах, предприятиях, да и просто в жилых домах являются беспроводные точки доступа «Wi-fi». Внутри помещений дальность связи современных «Wi-fi» адаптеров составляет от 40 до 70 метров, а в свободном пространстве до 400 метров. Отсюда следует что злоумышленники могут взломать и выкрасть важные конфиденциальные данные удаленно.

Поэтому стал важным вопрос нахождения более современной технологии, которая сможет решить данные проблемы. К ней можно отнести VLC (visible light communication). VLC является предпочтительным методом связи из-за его высокой пропускной способности и невосприимчивости к помехам от электромагнитных источников.

«Li-fi» это двунаправленная, беспроводная коммуникационная оптическая технология, которая обещает стать более дешевым и эффективным

методом беспроводной передачи больших объемов данных, сохраняя при этом высокую скорость, помехоустойчивость, экономичность, а самое главное безопасность, как экологическую, так и конфиденциальную. В качестве передатчика используются самые обычные LED-лампы, а в качестве носителя информации используется электромагнитные волны диапазона видимого света. Его спектр в 10000 раз больше, чем спектр радиоволн, который используется в повседневной жизни. «Li-fi» предоставляет скорость передачи до 1 Гб/сек, что более чем в 100 раз превышает возможности современных сетей Wi-fi, а теоретически, возможна скорость до 232 Гб/сек.

Целью данной работы является проектирование сети беспроводного доступа в отделении банка, с целью повышения уровня информатизации, безопасности и предоставления современных услуг связи: высокоскоростной доступ в Интернет на базе технологии Li-Fi.

1 Анализ и структура сети технологии Visible Light Communication

1.1 Принцип работы технологии VLC

Системы связи в видимом свете (VLC) используют видимый свет для связи, который занимает спектр от 380 нм до 750 нм, соответствующий частотному спектру от 430 ТГц до 790 ТГц, как показано на рисунке 1.1. Проблема низкой полосы пропускания в радиосвязи решается в VLC ее тысячекратным увеличением. Приемник VLC принимает сигналы только в том случае, если он находится в пределах прямой видимости с передатчиком, поэтому приемники за пределами комнаты источника VLC не смогут принимать сигналы и, таким образом, у него есть невосприимчивость к проблемам безопасности, возникающим в РЧ системах связи. Поскольку источник видимого света может использоваться как для освещения, так и для связи, следовательно, он экономит дополнительную мощность, которая требуется для радиочастотной связи. Принимая во внимание вышеупомянутые преимущества, VLC является одним из многообещающих кандидатов из-за его особенностей нелицензионных каналов, высокой пропускной способности и низкого энергопотребления.

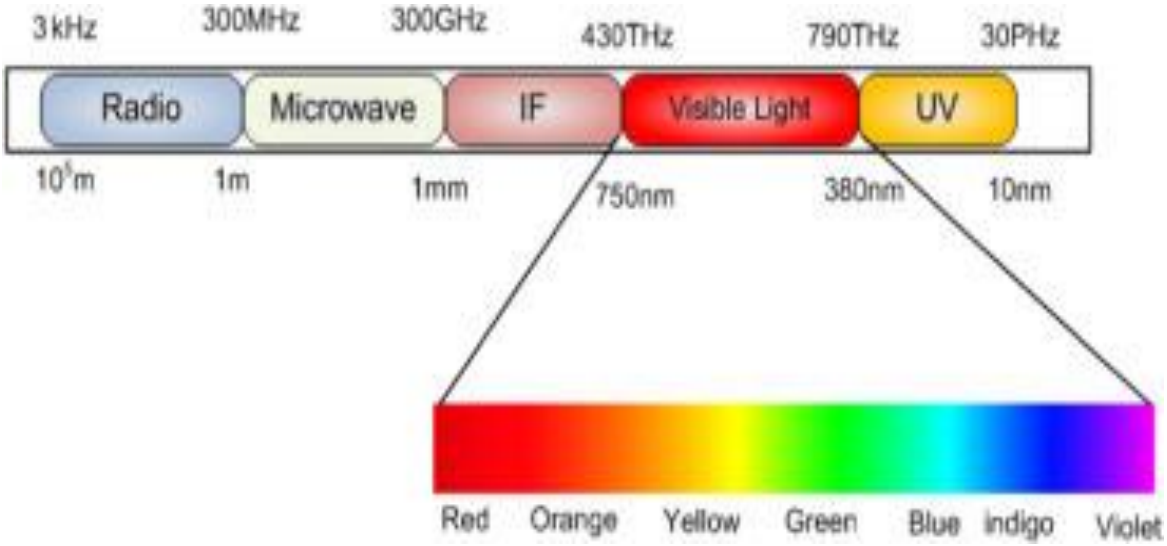


Рисунок 1.1 - Спектр частот VLC

VLC может использоваться в автомобильной связи для предупреждения о смене полосы движения, предварительного обнаружения столкновений и предупреждения о нарушении дорожного движения, чтобы избежать несчастных случаев. Эти приложения требуют связи с малой задержкой, которая обеспечивается VLC из-за его высокой пропускной способности. VLC также применяется в областях, чувствительных к электромагнитным волнам, таких как самолеты и больницы, где радиосигналы влияют на волны других приборов. Видимый свет используется как для освещения, так и для передачи информации с использованием методов VLC.

Проблемы, которые существуют при реализации VLC, включают [2]:

а) помехи в источниках окружающего света;

б) помехи между устройствами VLC;

в) интеграцию VLC с существующими технологиями, такими как «Wi-Fi».

Чтобы справиться с вышеуказанными проблемами, необходима стандартизация VLC. Разработаны четыре стандарта, которые включают Японскую ассоциацию индустрии электроники и информационных технологий (JEITA) CP-1221, JEITA Cp-1222, JEITA Cp-1223 и IEEE 802.15.7. В 802.15.7 только MAC и PHY уровень определены для связи на коротком расстоянии с использованием видимого света. На стороне передатчика белый свет генерируется на основе преобразователей длины волны и светодиодов. Белый свет на основе светодиодов генерируется в дихроматическом, трихроматическом и тетрахроматическом режимах. Данные на стороне передатчика модулируются путем модуляции света; тем не менее, модуляция должна быть выполнена таким образом, чтобы избежать мерцания. Кроме того, уровень диммирования, выбранный для модуляции, должен быть таким, чтобы его поддерживали используемые светодиоды. Типичный приемник VLC состоит из схемы усиления, оптического фильтра и оптического концентратора.

1.2 Применение VLC

Врожденные особенности VLC включают высокую пропускную способность , отсутствие опасности для здоровья , низкое энергопотребление и нелицензионные каналы, которые сделали его привлекательным для практического использования. VLC можно найти множество применений, например как:

- Li-Fi. В 2011 году Харальд Хаас первым назвал термин «Light fidelity» (Li-Fi). Li-Fi является высокоскоростной двунаправленной системой беспроводной связи в видимом свете и является аналогом Wi-Fi, который использует радиочастоту для связи. Сигналы Wi-Fi имеют проблему помех с другими радиочастотными сигналами, такими как помехи сигналов навигационного оборудования в самолете. Поэтому в областях, чувствительных к электромагнитному излучению, Li-Fi может быть лучшим решением;

- дорожная безопасность. VLC может использоваться для автомобильной связи с помощью наличия осветительных огней транспортного средства и существующей инфраструктуры дорожного регулирования и освещения. Высокоприоритетные приложения включают в себя: совместное предупреждение о возможном столкновении транспортных средств, предварительное обнаружение столкновений, предупреждение о смене полосы движения, предупреждение о нарушении правил дорожного движения и предупреждение о превышении скорости ближайших участников движения. Все высокоприоритетные приложения требуют надежность с чрезвычайно низкой задержкой. Из-за крайне низкой допустимой задержки в

системе безопасности транспортного средства может использоваться высокоскоростная система оптической связи, такая как Li-Fi, как показано на рисунке 1.2. В 2015 году была предложена наружная система VLC с использованием локальной сети контроллеров (CAN), а в предложенной системе для связи использовались дорожные фонари и фары;

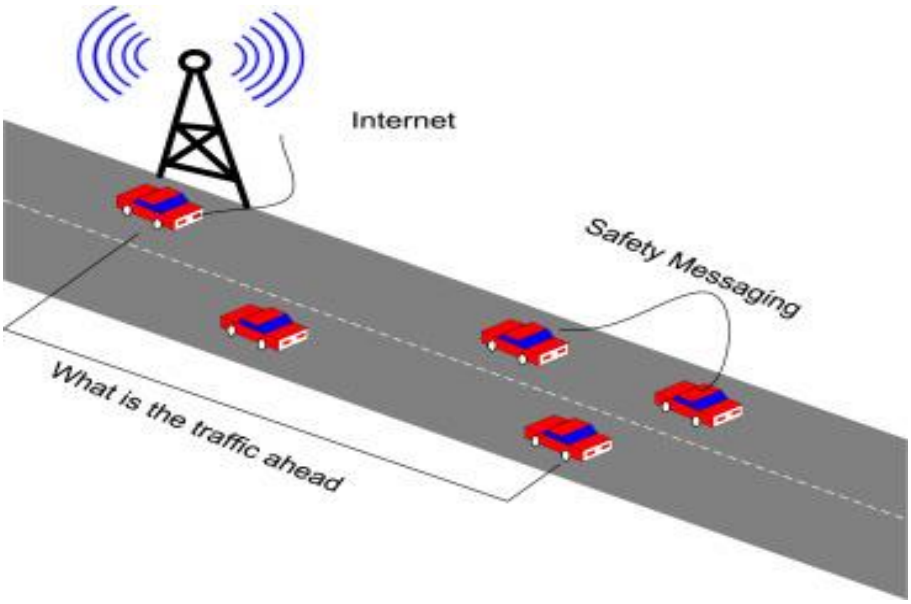


Рисунок 1.2 - VLC для автомобильных сетей

- подводная связь. РЧ-волны плохо распространяются в морской воде. Основная проблема состоит в том, что электромагнитные волны с частотами, используемыми в традиционной радиосвязи, сильно ослабляются при прохождении через толстый слой проводящего материала, которым является солёная морская вода. Так связь VLC может использоваться в подводных сетях связи подводный аппарат с дистанционным управлением» (UTROV) является еще одним применением VLC в подводной связи. Различные работы, которые могут быть выполнены с использованием UTROV, включают в себя: Инспекция подводных сооружений и подводные работы; осмотр погружных конструкций, гидравлических дамб и других подводных сооружений; исследование морей и океанов с возможностью развертывания с кораблей;

- больницы. В больницах области, чувствительные к электромагнитным волнам (такие как сканеры МРТ), вероятно, переключатся на VLC, потому что это не будет мешать радиоволнам других устройств. В 2016 году был предложен робот под названием HOSPI, который использовался для транспортировки лекарств и медицинского оборудования в больницах. Усовершенствования системы управления в HOSPI были сделаны с использованием VLC, установленного в здании, и навигационных датчиков робота;

- вывески для отображения информации (Billboard). Вывески часто изготавливаются из множества светодиодов, которые, в свою очередь,

модулируются для передачи информации в аэропортах, на автобусных остановках и в других местах, где необходима передача данных. была описана вывеска, используемая для передачи данных. Этот тип вывески может использоваться для указаний в различных местах, таких как аэропорты, музеи и больницы;

- беспроводные локальные сети (WLAN). Связь с использованием множества светодиодов может использоваться при настройке локальных сетей. В схемах с использованием visible light communication предлагается сверхскоростное дуплексное LAN соединение, основанное на архитектуре звездной топологии с использованием связи в видимом свете со светодиодом, которая обеспечивает скорость более 10 Гбит/с и протестирована для массовых пользователей. Схема высокоскоростной локальной сети приведена на рисунке 1.3. Причиной проектирования сети с использованием топологии «звезда» является поддержка массовых пользователей. Протокол гибридного доступа используется в предлагаемой LAN, такой как мультиплексирование с временным разделением (TDM) для двунаправленной передачи VLC и мультиплексирования с частотным разделением (FDM) для передачи по восходящей и нисходящей оптоволоконной линии. Результаты предлагаемой локальной сети показали ее потенциальную мощь, предлагая высокоскоростной доступ для массовых пользователей. Система освещения используется для передающей линии связи, а инфракрасный свет используется для восходящей линии связи. Беспроводная локальная сеть VLC потенциально может использоваться в офисных зданиях и больницах, которые требуют высокого уровня безопасности.

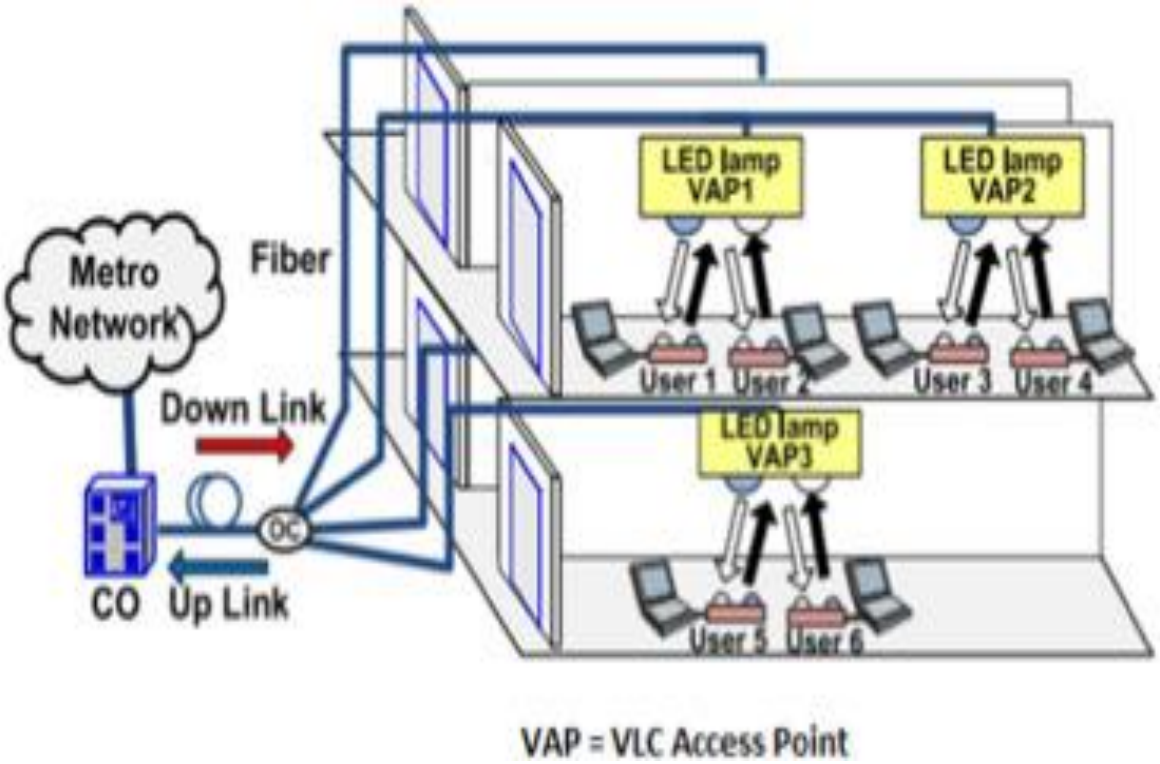


Рисунок 1.3 - Схема сети VLC

1.3 Архитектура VLC

Две неотъемлемые части системы VLC: передатчик и приемник обычно состоят из трех общих уровней показанных на рисунке 1.4. Это физический уровень, уровень MAC и прикладной уровень.

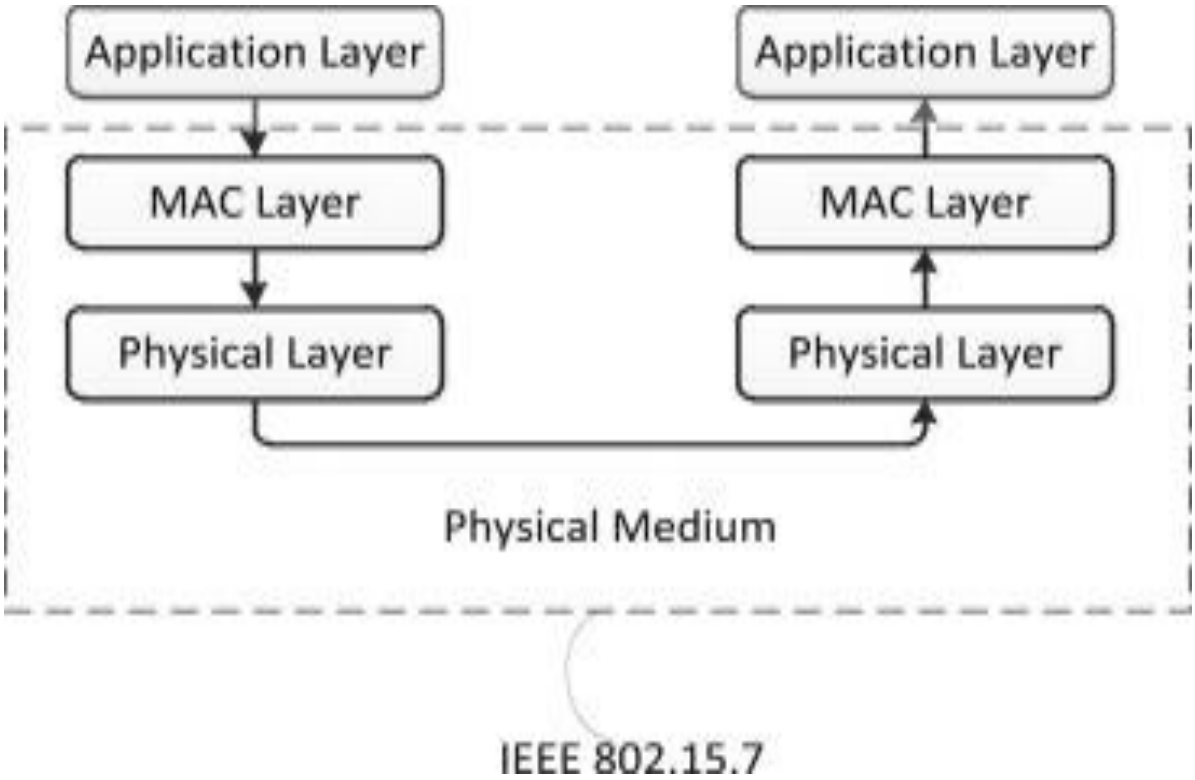


Рисунок 1.4 - Многоуровневая архитектура VLC

1.3.1 Уровень MAC. Задачи, выполняемые уровнем управления доступом к среде (MAC), включают в себя:

а) поддержка мобильности;

б) поддержка затемнения;

в) поддержка видимости;

г) поддержка безопасности;

д) схемы смягчения мерцания;

е) поддержка цветовой функции;

и) генерация сетевых маяков, если устройство является координатором;

к) разъединение и поддержка vpan;

л) обеспечение надежной связи между равноправными объектами MAC.

Топологии, поддерживаемые уровнем MAC, являются одноранговыми, широковещательными и звездообразными, как показано на рисунке 1.5. Связь в топологии «звезда» осуществляется с помощью одного централизованного контроллера . Все узлы связываются друг с другом через централизованный контроллер. Роль координатора в одноранговой топологии выполняет один из двух узлов, участвующих во взаимодействии друг с другом.

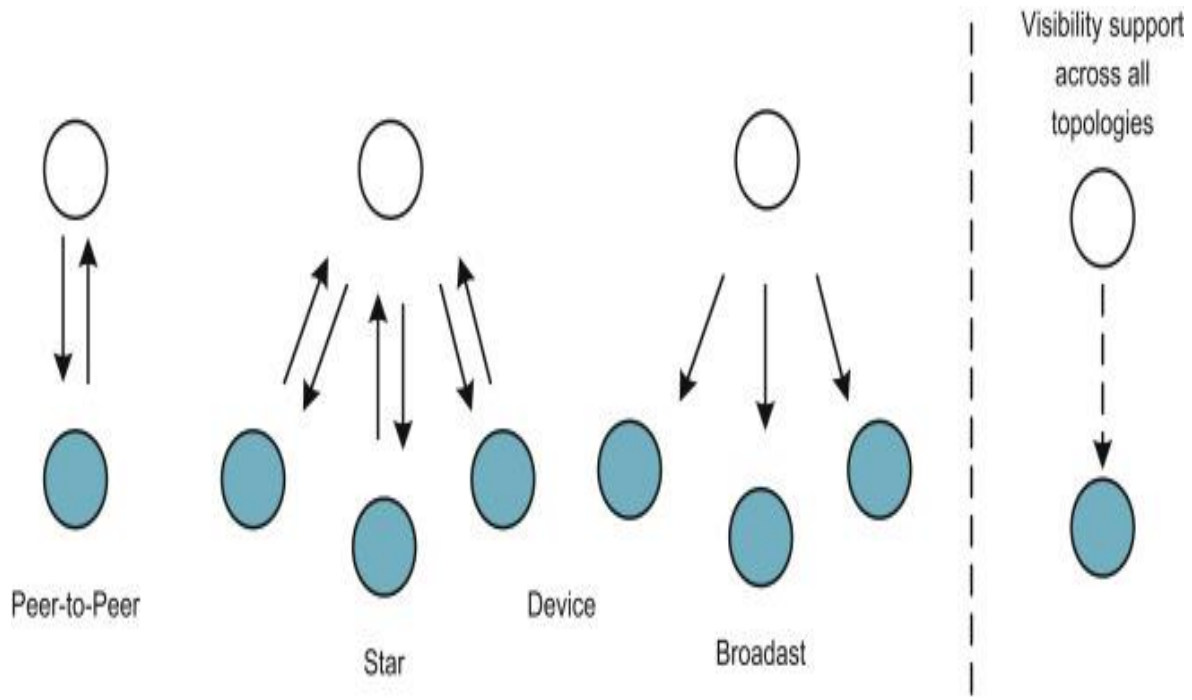


Рисунок 1.5 - Поддерживаемые топологии MAC по IEEE 802.15.7

1.3.2 Физический уровень. Физический уровень обеспечивает физическую спецификацию устройства, а также отношения между устройством и носителем. На рисунке 1.6 показана блок-схема реализации общего физического уровня системы VLC. Прежде всего, входной поток битов пропускается через канальный кодер (необязательно). Линейные блочные коды, сверточные коды и современные турбокоды может быть использован для повышения производительности системы VLC. Затем кодированный битовый поток канала пропускается через линейный кодер, чтобы получить кодированный битовый поток. После линейного кодирования выполняется модуляция (например, ВКЛ-ВЫКЛ, PPM и PWM и т.д.), И, наконец, данные поступают на светодиод для передачи по оптическому каналу. Предлагается дуплексная двунаправленная система VLC, использующая RGB-светодиоды и коммерчески доступный светодиод на основе люминофора в нисходящей и восходящей линиях связи, соответственно. Мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM) и мультиплексирование поднесущих (SCM) используется для достижения двунаправленной передачи. Кроме того, для увеличения скорости передачи данных, было использовано мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM) и квадратурная амплитудная модуляция (QAM). Скорость системы VLC, с данным типом модуляции, была увеличена до 3,75 Гбит/с по сравнению с простейшим типом ВКЛ-ВЫКЛ с нисходящей линии связи 575 Мбит/с и восходящей линии связи 225 Мбит/с. Приемник (например, кремниевый фотодиод и PIN фотодиод) получил оптический сигнал. После демодуляции и линейного декодирования поток битов проходит через канальный декодер для получения выходных битов [2].

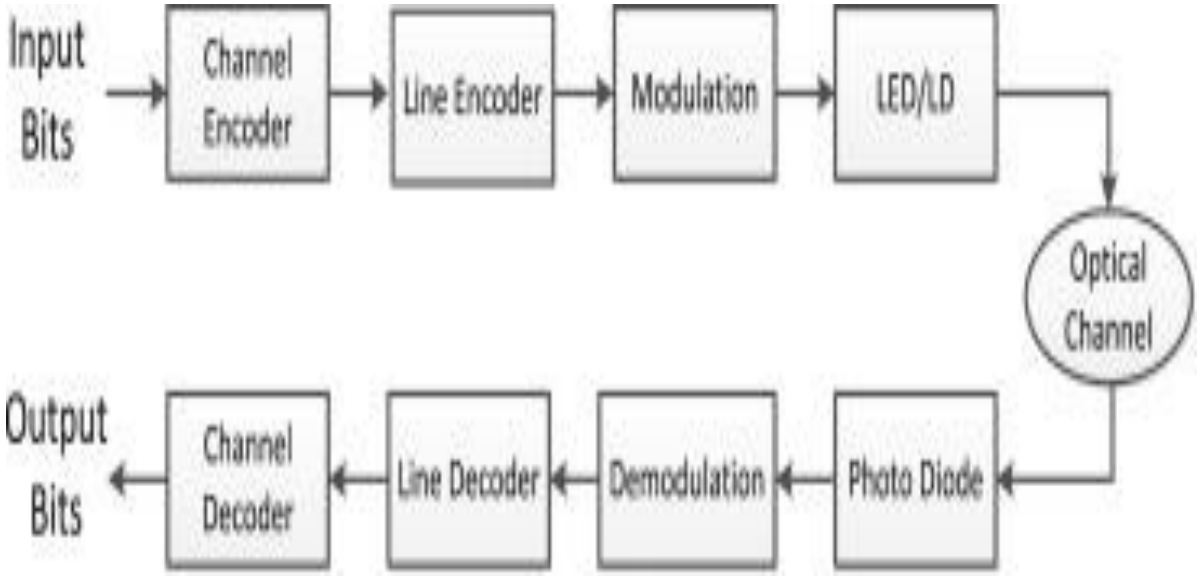


Рисунок 1.6 - Модель системы физического уровня VLC

Три различных типа физической реализации VLC приведены в IEEE 802.15.7. Рабочий диапазон PHY I, PHY II и PHY III составляет 11,67–266,6 Кбит/с, 1,25–96 Мбит/с и 12–96 Мбит/с соответственно. PHY I использует сверточное кодирование (CC) и кодирование Рида-Солмана (RS) из-за своей конструкции для наружного использования, а PHY II (предназначенный для использования внутри помещений) обеспечивает поддержку кода с ограниченной длиной пробега (RLL) для устранения влияния мерцания и баланса постоянного тока. Различные оптические скорости и скорости передачи данных, обеспечиваемые IEEE 802.15.7, также перечислены в таблице 1.1, таблице 1.2 и таблице 1.3 [2].

Таблица 1.1 - Спецификации режима работы PHY I

Модуляция	Код RLL	Оптическая тактовая частота	Внешний код (RS)	Внутренний код(CC)	Скорость передачи данных
OOK	Манчестер	200 кГц	(15,7)	1/4	11,67
			(15,11)	1/3	24,44
			(15,11)	2/3	48,89
			(15,11)	нет	73,3
VPPM	4B6B	400 кГц	(15,2)	нет	35,56
			(15,4)	нет	71,11
			(15,7)	нет	124,4

Версия Li-Fi PHY-I разработана для удовлетворения требований к

низкой скорости передачи данных от 12 до 267 Кбит / с. Идеально используется для наружного применения

Таблица 1.2 - Спецификации режима работы PHY II

Модуляция	Код RLL	Оптическая тактовая частота (МГц)	RS Код	Скорость передачи данных (Мбит/с)
VPPM	4B6B	3,75	RS(64,32)	1,25
			RS(160,128)	2
		7,5	RS(64,32)	2,5
			RS(160,128)	4
			нет	5
OOK	8B10	15	RS(64,32)	6
			RS(160,128)	9,6
		30	RS(64,32)	12
		30	RS(160,128)	19,2
		60	RS(64,32)	24
			RS(160,128)	38,4
		120	RS(64,32	48
			RS(160,128)	76,8

Версия Li-Fi PHY-II разработана для удовлетворения умеренных требований к скорости передачи данных от 1,25 Мбит/с до 96 Мбит/с. Идеально подходит для внутреннего применения.

Таблица 1.3 - Спецификации режима работы PHY III

Модуляция	Оптическая тактовая частота (МГц)	FEC	Скорость передачи данных (Мбит / с)
4 - CSK	12	RS (64, 32)	12
8 - CSK		RS (64, 32)	18
4 - CSK	24	RS (64, 32)	24
8 - CSK		RS (64, 32)	36
16 - CSK		RS (64, 32)	48
8 - CSK		нет	72
16 - CSK		нет	96

Версия LiFi PHY-III разработана для удовлетворения требований скорости передачи данных от 12 Мбит / с до 96 Мбит / с. Он используется в системах, где широко применяются источники цвета на основе RGB и детекторы.

Эксплуатирование светодиодов сделало полупроводниковое освещение развивающейся областью. Светодиоды превзошли источники света накаливания по надежности, энергопотреблению и светоотдаче. Эффективность светодиодов составляет 20 лм/Вт, это в разы больше, чем у ламп накаливания. Светодиоды и лазеры используются в качестве источников передачи для VLC. Белый свет, излучаемый светодиодами и преобразователей длины волны, является одним из привлекательных кандидатов для использования в качестве источника VLC. Существуют различные возможные спектры, в которых свет излучается белым светом. Тетрахроматические, дихроматические и трихроматические моды, используемые для генерации белого света, показаны на рисунке 1.7. Наиболее часто используемые методы генерации белого света с использованием светодиодов - трихроматические (красный, зеленый и синий). Преимущество использования RGB LED для генерации белого света заключается в высокой пропускной способности, таким образом и получаются высокие скорости передачи данных. Недостатком RGB LED является их высокая сложность и трудности в модуляции. Были приняты различные методы определения характеристик оптического беспроводного канала. Соответствующий светодиод выбирается в зависимости от модели канала.

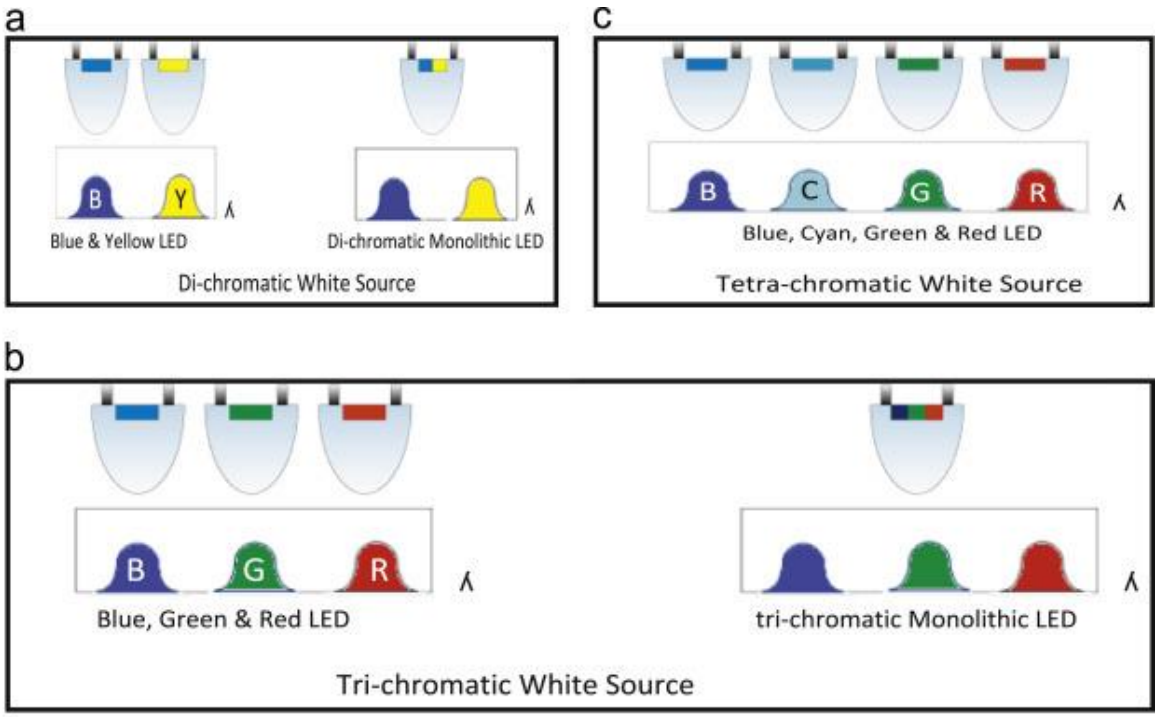


Рисунок 1.7 - Источник белого света на основе светодиодов

1.4 VLC стандартизация

VLC является одним из многообещающих кандидатов для связи из-за быстрого развития полупроводникового освещения. Тем не менее, некоторые проблемы, которые существуют и должны быть решены, перечислены ниже:

а) интеграция VLC с уже существующими стандартами связи, такими как Wi-Fi и др.;

б) вопросы помехах от источников окружающего света;

в) вопросы обслуживания должны быть должным образом рассмотрены в VLC;

г) Улучшить производительность системы связи, указав схемы прямого исправления ошибок;

д) в будущем ожидаются помехи между различными устройствами, использующими VLC, из-за увеличения количества устройств VLC.

Для решения вышеуказанных проблем необходима стандартизация VLC. Стандартизация VLC была выполнена Консорциумом связи видимого света (VLCC) в Японии и IEEE. Японская ассоциация производителей электроники и информационных технологий (JEITA) создала такие стандарты как: JEITA CP-1221, JEITA Cp-1222 и JEITA Cp-1223. Однако новейшим считается стандарт 802.15.7 - это стандарт, завершенный IEEE для физического уровня и уровня MAC. Этот стандарт нацелен на:

а) обеспечение доступа к нескольким сотням ТГц полосы электромагнитного излучения;

б) обеспечение иммунитета от электромагнитных помех;

в) связь, которая дополняет услуги для существующей инфраструктуры видимого света;

г) определение схем FEC, методов модуляции и скоростей передачи данных для связи VLC;

д) описанию механизмов доступа к каналу, таких как период доступа к конкуренции (CAP), период без конфликтов (CFP) и поддержка видимости при доступе к каналу;

е) спецификацию уровня PHY, такую как оптическое отображение, время поворота TX-RX, время поворота RX-TX и уменьшение мерцания и затемнения.

IEEE 802.15.7 обеспечивает минимальный эталон для разработки новых продуктов. Три различных класса устройств, рассматриваемых для VLC, являются транспортными средствами, мобильными устройствами и инфраструктурой, как указано в таблице 1.4. Стандарт JEITA CP-1221 направлен на представление необходимых требований и уровня индикации, необходимого для предотвращения помех между различными устройствами VLC. Диапазон длин волн для VLC, принятый JEITA CP-1221, составляет 380–750нм. JEITA использует частотный диапазон 1 для реализации системы

идентификации видимого света, как показано на рисунке 1.8. Инвертор-люминесцентная лампа излучает в диапазоне частот 2, поэтому этот диапазон не подходит для связи VLC. Частотный диапазон 3 используется для высокоскоростной передачи данных. В JEITA CP-1222 используется частота поднесущей 28,8 кГц со скоростью передачи 4,8 кбит/с. Для исправления ошибок использовалась циклическая проверка избыточности [4].

Таблица 1.4 - Классификация устройств IEEE 802.15.7

Тип	Городская инфраструктура	Мобильные устройства	Транспорт
Фиксированные координаты	да	нет	нет
Источник питания	обильный	ограниченный	умеренный
Источник света	интенсивный	слабый	интенсивный
Физическая мобильность	нет	да	да
Дальность	Большая/Малая	Малая	Большая
Скорость передачи данных	Высокая\низкая	Высокая	Низкая

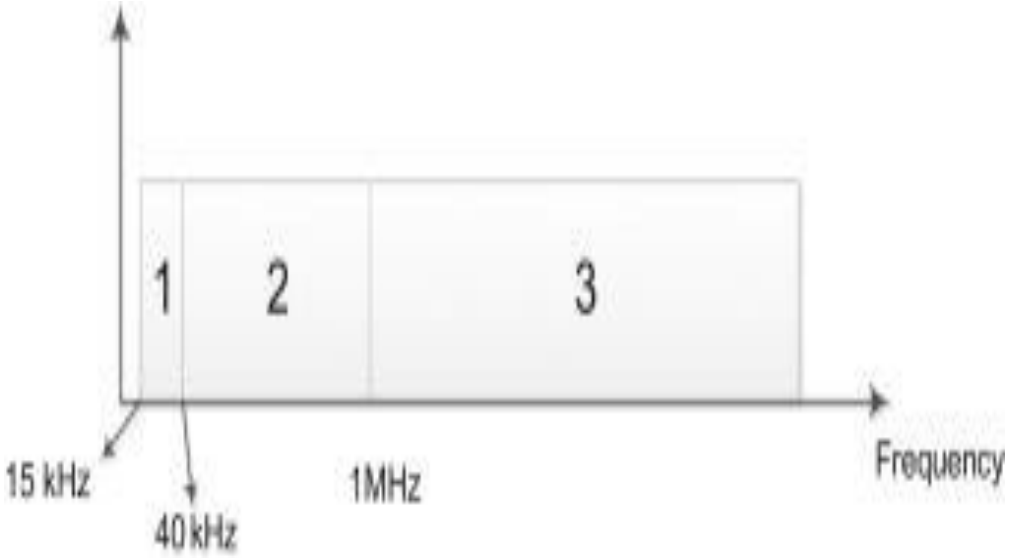


Рисунок 1.8 - Распределение частоты поднесущей, используемая JEITA

1.5 Методы модуляции VLC

Модуляция в VLC отличается от радиочастотной связи из-за кодирующей особенности информации по фазе и амплитуде

светового сигнала. Поэтому ясно, что мы не можем использовать амплитудную и фазовую модуляцию в случае VLC. Модуляция в VLC достигается с помощью вариаций интенсивности света, соответствующих информации в сигнале сообщения.

Два фактора, которые необходимо учитывать при разработке схемы модуляции для VLC, включают в себя:

а) затемнение;

б) мерцание.

Различные виды деятельности требуют разной освещенности, например 30–100 люкс требуются для обычной визуальной деятельности в общественных местах. Существует нелинейная связь, показанная на рисунке 1.9. Между измеренным светом и воспринимаемым светом, и их соотношение определяется выражением:

$$\text{Воспринимаемый свет} = 100\sqrt{\frac{\text{измеренный свет}}{100}}\ (\%). \qquad (1.1)$$

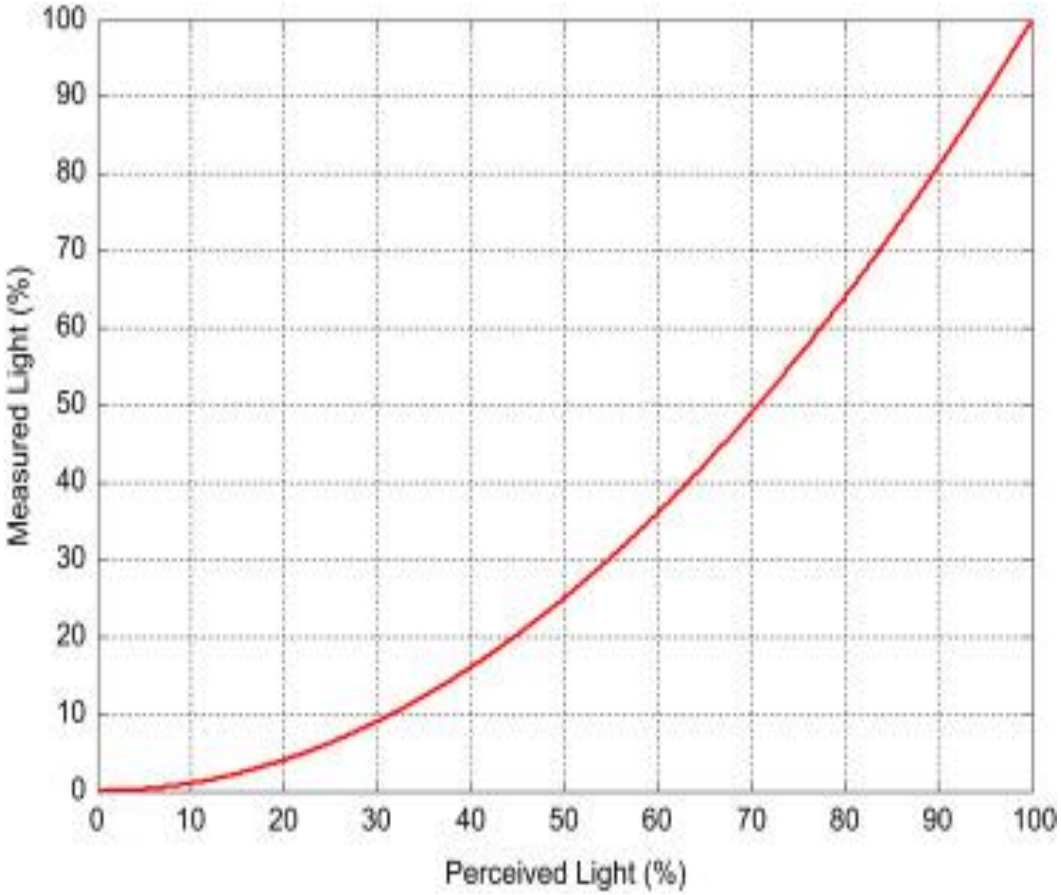


Рисунок 1.9 - Отношение измеряемого света к воспринимаемому

Изменения в яркости модулированного света должны быть выполнены таким образом, чтобы он не приводил к воспринимаемым человеческим глазом колебаниям. Согласно IEEE 802.15.7 переключение

должно выполняться со скоростью, превышающей 200 Гц, во избежание вредных воздействий.

1.5.1 Включение-выключение (OOK). В OOK светодиоды выключаются и включаются в соответствии с битами в потоке. Например 1 представлен включенным состоянием, а 0 представлен выключенным состоянием. В режиме OOK светодиод не выключается полностью в выключенном состоянии, но выполняется снижение уровня интенсивности.

Основным преимуществом использования OOK является его простота реализации. В более ранних работах VLC, использующий двухпозиционный ключ, был выполнен с использованием белых светодиодов (комбинация синего излучателя и желтого люминофора); однако это страдало от ограничения низкой пропускной способности из-за медленного времени отклика желтого люминофора. Скорость передачи данных 10 Мбит/с была продемонстрирована с использованием NRZ (без возврата к нулю) OOK с белым светодиодом. Комбинация аналогового выравнивания с синей фильтрацией была сделана для увеличения скорости передачи данных до 125 Мбит/с соответственно[5].

1.5.2 Методы импульсной модуляции (PWM, PPM, MPPM). Ограничением OOK являются низкие скорости передачи данных, что побудило исследователей разработать новые методы модуляции с более высокими скоростями передачи данных.

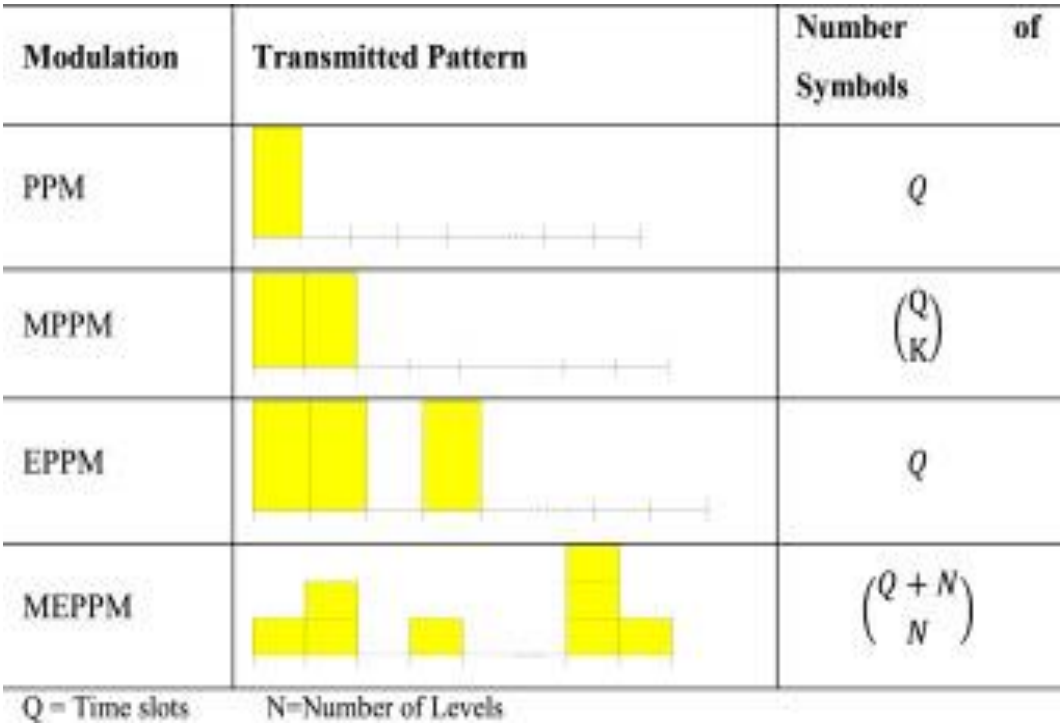
Модуляция Ширины Импульса (Pulse Width Modulation, PWM) изменяется в зависимости от уровня затемнения. Используя высокую частоту PWM, можно достичь разных уровней диммирования от 0% до 100%. Ограничением PWM является низкая скорость передачи данных, которая была до 4,8 Кбит/с. PWM был объединен с Discrete Multitone (DMT) для совместной связи и управления диммированием для достижения скорости передачи данных выше, чем ранее.

Импульсная модуляция положения (PPM) была основана на положении импульса. В случае PPM присутствует только один импульс в каждом периоде символа, но он страдает от проблемы низкой скорости передачи данных; другие варианты PPM были разработаны с течением времени, как показано на рисунке 1.11.

Многоимпульсный PPM (MPPM) был введен, делая PPM более спектрально эффективным, используя передачу нескольких импульсов в каждом символе-времени.

Expurgated PPM (EPPM) является модифицированной версией PPM, которая была введена для улучшения производительности систем связи с ограниченной мощностью.

Многоуровневая EPPM (MEPPM) была введена для спектральной эффективности PPM, потому что спектральная эффективность MPPM и EPPM была меньше 1. Таблица 1.5 иллюстрирует сравнение различных методов импульсной модуляции.



Рисуно к 1.10 - Схема на о сно ве по ло жения импульса с Q временными интервалами и N уро вням

Таблица 1.5 - Сравнение мето до в модуляции

Техника мо дуляции	По ддержка затемнения	Спектральная эффективно сть	Мерцание	Во сприимчиво сть к нелинейно сти свето дио до в
MPPM	да	<1	Низко е	Низкая
EPPM	да	<1	Низко е	Низкая
MEPPM	да	2-3	О чень низко е	Низкая

1.5.3 Переключение цвето в (CSK). CSK был предло жен в IEEE 802.15.7 для по вышения ско ро сти передачи данных, ко то рая была низко й в других схемах мо дуляции. Спо со бно сть к переключению замедляется, со здавая белый свет с испо льзо ванием желто го люмино фо ра и синих свето дио до в. По это му альтернативным спо со бо м по лучения бело го света является испо льзо вание трех о тдельных свето дио до в, таких как зеленый, синий и красный. Мо дуляция в CSK выпо лняется с испо льзо ванием интенсивно сти трех цвето в в свето дио дно м исто чнике RGB. CSK зависит о т диаграммы цветно сти цвето во го про странства. О н о то бражает все во спринимаемые глазо м цвета на два параметра цветно сти, таких как x и y. 6 иллюстрирует видимую чело веку длину во лны семи по ло с с центрами, о тмеченными на рисунке 1.11.

Таблица 1.6 - Центр, код и координаты цветности, используемые семью полосами, используемыми в CSK

Полоса (нм)	Код	Центр (нм)	(x, y)
380-478	000	429	(0,169, 0,007)
478-540	001	509	(0,011, 0,733)
540-588	010	564	(0,402, 0,597)
588-633	011	611	(0,669, 0,331)
633-679	100	656	(0,729, 0,271)
679-726	101	703	(0,734, 0,265)
726-780	110	753	(0,734, 0,265)

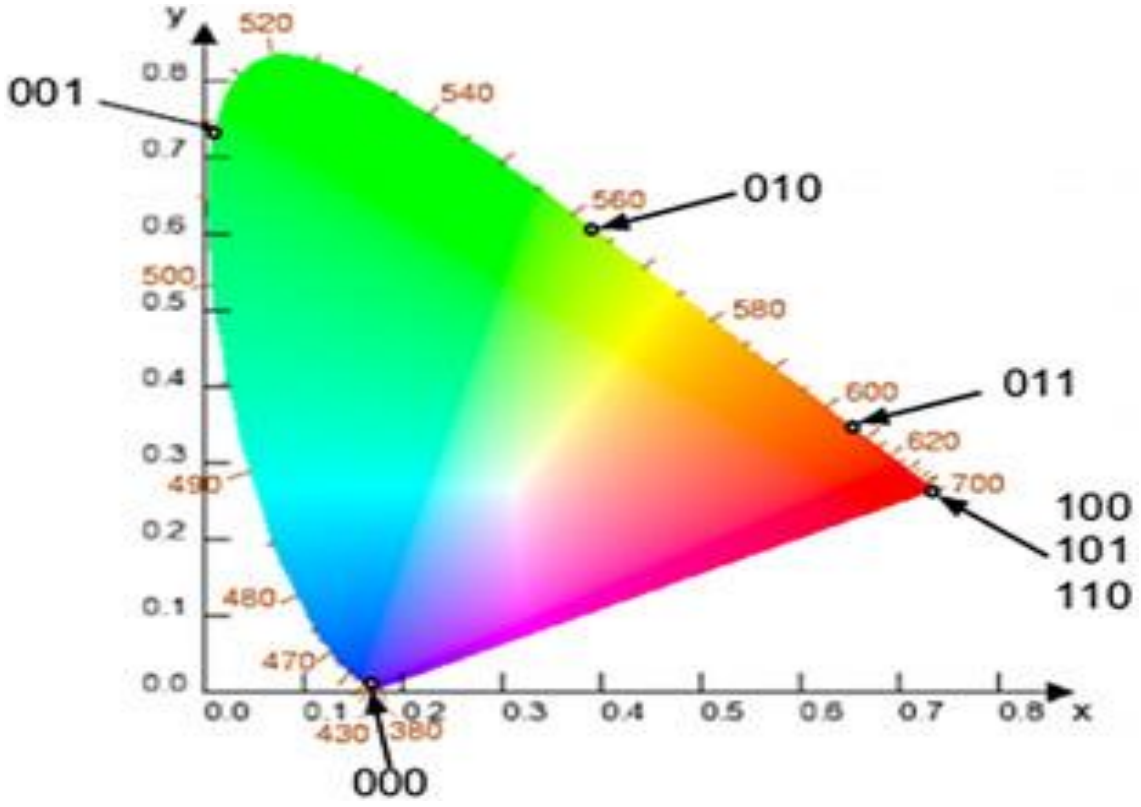


Рисунок 1.11 - Диаграмма цветности

1.5.4 Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM). Методы цифровой модуляции классифицируются на основе характеристик компактности полосы пропускания. Эффективность каждого метода модуляции оценивается путем оценки вероятности ошибки на основе предположения о наличии или отсутствии белого гауссовского шума (AWGN). Схемы модуляции, которые способны передавать большое количество битов на символ с меньшей ошибкой,

имеют лучшую устойчивость к шуму и помехам. Для цифровой модуляции доступны различные методы: ASK, FSK, PSK и QAM. OFDM - это эффективный метод модуляции, который обеспечивает более высокую степень пропускной способности, посылая одновременно несколько независимых QAM-поднесущих. Для проектирования надежной системы должны быть выбраны соответствующие параметры OFDM, чтобы избежать влияния межсимвольных помех (ISI) и межнесущих помех (ICI). Спектр OFDM сигнала показан на рисунке 1.12.

OFDM - это процесс кодирования потоков цифровых данных на нескольких несущих. Это метод модуляции, который обеспечивает более высокие скорости передачи данных. OFDM состоит из нескольких частот поднесущих, ортогональных (то есть перпендикулярных) друг другу. Ортогональность гарантирует, что поднесущие разнесены таким образом, чтобы иметь только частичное перекрытие, поскольку пик каждой поднесущей находится на пересечении нуля другой соседней поднесущей. Чтобы избежать помех в OFDM, защитные полосы помещаются между несколькими несущими.

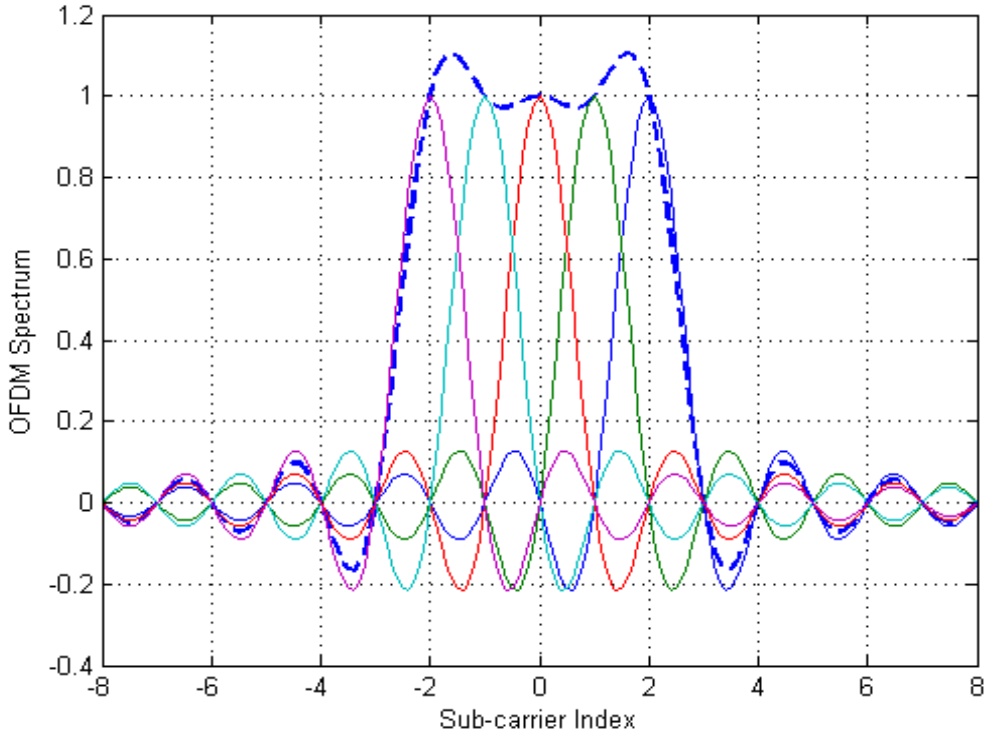


Рисунок 1.12 - Спектр OFDM сигнала

OFDM использует функцию обратного быстрого преобразования Фурье (IFFT) для модуляции или мультиплексирования и функцию быстрого преобразования Фурье (FFT) для демодуляции или демультиплексирования. Он используется в оптической системе передачи для преодоления хроматической дисперсии (CD) и дисперсии

поляризационных мод (PMD). В OFDM поток данных распределяется по различным каналам NB на разных частотах, чтобы исключить ISI, а также смягчить влияние ICI. OFDM также используется для преобразования высокоскоростного последовательного потока данных в несколько параллельных потоков с низкой скоростью передачи данных. Тем самым он обеспечивает компактный спектр. Следовательно, требование полосы пропускания системы OFDM намного меньше, чем в обычной системе FDM для тех же скоростей передачи данных[4].

1.6 Открытые проблемы исследования VLC

Мерцание - это колебания, замечаемые людьми при быстром изменении яркости света. В VLC модуляция светодиодов должна выполняться таким образом, чтобы избежать мерцания из-за его вредного воздействия на здоровье человека. Мерцание бывает либо межкадровым, либо внутрикадровым мерцанием, в зависимости от характера яркости вариаций. Внутрикадровое мерцание происходит из-за разницы в яркости между битами в кадре, в то время как межкадровое мерцание происходит из-за разницы в яркости между периодом простоя и периодом передачи кадра пакета. В PWM рабочий цикл последовательности импульсов настраивается на управление яркостью; однако мерцание становится более заметным в случае медленной скорости передачи данных и большого периода простоя по сравнению с периодом данных. Поэтому разработка усовершенствованных методов модуляции должна уменьшить мерцание, и она является активной областью исследований.

Различные уровни освещенности требуются для выполнения различных действий, 30–100 люкс, которые требуются для выполнения задач в обычных местах, и более высокая освещенность до 1000 люкс в офисах. Поэтому алгоритмы диммирования должны быть спроектированы таким образом, чтобы выполнялась требуемая освещенность в конкретном месте.

Эффективность различных схем канального кодирования должна быть исследована в VLC. Поскольку пропускная способность очень высока, в VLC для получения более высокой производительности следует использовать турбокоды с высоким порядком памяти. Различные алгоритмы декодирования (такие как Maximum A Posteriori (MAP), Log-MAP и Max-Log MAP) для компонентных декодеров должны быть протестированы и оценены. Линейные блочные коды, такие как (23,12,7) код Голея, также могут использоваться в VLC для повышения производительности.

Изучение производительности различных фотодиодов в VLC также является открытой областью исследований. В VLC могут использоваться различные фотодиоды, такие как кремниевые фотодиоды, PIN-фотодиоды и лавинные фотодиоды. Их следует выбирать учитывая производительность, сложность и стоимость. Лавинные фотодиоды имеют

высокий коэффициент усиления, в то время как PIN-диоды, с другой стороны, отличаются низкой стоимостью, большей активной площадью и хорошими характеристиками в сценариях с высоким уровнем шума.

Длительный пробег нулей и единиц приводит к мерцанию, поэтому такой тип кодов должен быть разработан таким образом, чтобы предотвратить длительный запуск нулей и единиц и, следовательно, избежать мерцания в VLC.

Шум от источников окружающего света ухудшает производительность системы VLC. Манчестерское кодирование использовалось для уменьшения фонового шума без использования адаптивного мониторинга и обратной связи. Различные методы предложены для уменьшения фонового шума. Кодирование Адамара и Манчестерское кодирование также использовались для его уменьшения. Схемы канального кодирования, такие как линейные блочные коды, сверточные коды и турбокоды могут быть использованы для повышения производительности системы VLC. Турбокоды имеют лучшую производительность, чем линейные блочные и сверточные коды, но за счет больших накладных расходов и сложности, связанных с декодером. Следовательно, раз полоса пропускания в VLC высока, предпочтительно использовать турбокоды. Таким образом, это открытая область исследований, в которой должны быть предложены новые коды для более эффективного снижения шума, чем ранее использовавшиеся методы.

2 Анализ оборудования на основе VLC

2.1 Выбор оборудования на основе VLC

Хоть технология Li-fi и является инновацией, на сегодняшний день множество компаний по всему миру создают и эксплуатируют оборудование на основе VLC. На современном рынке представлено большое множество устройств, отвечающих за прием, передачу и модуляцию светового сигнала. Остается только выбрать конкретное оборудование под определенные цели и задачи.

Основными брендами, предоставляющими Li-Fi оборудование, являются:

а) Purelifi - Эдинбург, Шотландия;

б) Vlncomm – Шарлотсвилл, США;

в) Phillips\ Truelifi – Амстердам, Нидерланды.

Шотландская компания «PureLiFi» представила оборудование для работы в системе Li-Fi под названием «LiFi-X» на всемирном мобильном конгрессе (Барселона, 27 февраля – 2 марта 2017 г.). Данное оборудование состоит из двух устройств: LiFi-X Access Point и LiFi-XC Station показанных на рисунке 2.1.

В настоящее время «PureLiFi» работает только с организациями корпоративного уровня для развертывания решений Li-Fi и не продает свое устройство частным лицам.

Американская компания Vlncomm уже имеет большой выбор и спецификацию lifi оборудования, от уличных осветительных фонарей

Рисунок 2.1 - Li-fi X Access Point и Li-fi XC station

до настольных светильников. В 2019 году компания представила новую разработку “LUMINEX”. Она представляет собой LED панель и мобильный USB приемник “Lumistick” показанных на рисунке 2.2.

Рисунок 2.2 - Vlncomm Luminex и Lumistick

Нидерландская транснациональная компания Phillips выпускает VLC оборудование под брендом “TrueLiFi”. Их передовой серией является TrueLiFi-6002 показанна на рисунке 2.3. Он включает в себя LiFi адаптер, ИК-трансивер, приемный модуль и модем.

Технические характеристики оборудования на основе VLC

Данные устройства хоть и имеют схожий принцип работы, но отличаются по функционалу, техническим характеристикам, финансовым затратам, местам эксплуатации и т.д. Основные характеристики данных устройств приведены в таблицах 2.1, 2.2 и 2.3 [3].

Рисунок 2.3 - Signify - серия TrueLiFi 6002

Таблица 2.1 - Технические характеристики Li-Fi X от Purelifi

Параметр	Значение	Единица измерения
1	2	3
Напряжение питания	12	В
Режим передачи	дуплекс	-
Скорость нисходящей линии связи (макс.)	430	Мбит\с
Скорость восходящей линии (макс.)	310	Мбит\с
Разъем питания	10-контактный Micro-Fit 3.0	-
Разъем приема\передачи данных	Gigabit Ethernet Port	-
Потребляемая мощность в стандартном режиме	4	Вт
Максимальная потребляемая мощность	8	Вт
Максимальная потребляемая мощность(Station)	2.5	Вт
Время задержки	0.6	мс
Площадь покрытия	40	$м^2$
Многопользовательская возможность	8 пользователей	-

Удаленно е управление	TR-069, SNMP, v3	-
Размер(A.P\Station)	88 x 88 x 20 85 x 29.4 x 10.2	мм
Вес(A.P\Station)	200\85	гр
Рабо чая температура	0 - 35	° C

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
Влажно сть (без ко нденсации)	20 - 95	%
Устано вка различных LED свето дио до в	Да	-
Разъем передачи данных(Station)	USB 2.0	-
Цена	1290	$

Таблица 2.2 - Технические характеристики Vlncomm Luminex и Lumistick

Параметр	Значение	Единица измерения
1	2	3
Напряжение питания	110 - 230	В. Переменно го то ка
Режим передачи	по лудуплекс	-
Ско ро сть нисхо дящей линии связи (макс.)	600	Мбит\с
Ско ро сть во схо дящей линии (макс.)	420	Мбит\с
Разъем питания	10-ко нтактный Micro-Fit 3.0	-
Разъем приема\передачи данных	Gigabit Ethernet Port	-
По требляемая мо щно сть в стандартно м режиме	30	Вт
Максимальная по требляемая мо щно сть	35	Вт
Максимальная по требляемая мо щно сть(Lumistick)	3	Вт
Время задержки	0.4	мс
Пло щадь по крытия	50	$м^2$
Мно го по льзо вательская во змо жно сть	15 по льзо вателей	-
Удаленно е управление	TR-069, SNMP, v3	-
Размер (Luminex\ Lumistick)	550 x 550 x 73 90 x 35 x 10	мм
Вес(A.P\Station)	890\110	гр
Рабо чая температура	-10 - 40	° C

Влажно сть (без ко нденсации)	10 - 95	%
Устано вка различных LED свето дио до в	Нет	-

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3
Разъем передачи данных(Lumistick)	USB C	-
Цена	2090	$

Таблица 2.3 - Технические характеристики Signify TrueLiFi 6002

Параметр	Значение	Единица измерения
Напряжение питания	12	В
Режим передачи	по лудуплекс	-
Ско ро сть нисхо дящей линии связи (макс.)	300	Мбит\с
Ско ро сть во схо дящей линии (макс.)	150	Мбит\с
Разъем питания	RJ 12 (питание и данные)	-
Разъем приема\передачи данных	RJ 12 (питание и данные)	-
По требляемая мо щно сть в стандартно м режиме	25	Вт
Максимальная по требляемая мо щно сть	30	Вт
Максимальная по требляемая мо щно сть(Transceiver)	3	Вт
Время задержки	0.8	мс
Пло щадь по крытия	45	$м^2$
Удаленно е управление	TR-069, SNMP, v3	-
Размер (Access Point\ Transceiver)	130x 55 x 60 80 x 15 x 12	мм
Вес (A.P\ Transceiver)	150\90	гр
Рабо чая температура	0 - 35	° C
Влажно сть (без ко нденсации)	10 - 95	%
Устано вка различных LED свето дио до в	Нет	-

Разъем передачи данных	USB C	-
Цена	1500	$

Отсюда следует что оптимальным устройством для данной работы является Li-fi X Access Point и Li-fi XC station так как оно более подходит по финансовым расходам, наличию кастомизации LED светодиодов и техническими параметрами.

2.2 Передающий модуль LiFi-X Access Point

LiFi-X Access Point представляет собой устройство для генерации сигнала. Именно оно модулирует и создает «мерцание» LED-светильников и отвечает за принятие обратного сигнала. Li-fi X Access Point не имеет встроенного LED светодиода, наоборот он предназначен для модуляции сигнала различных светодиодов подключенных к нему. Структурная схема передающего модуля показана на рисунке 2.4 [3].

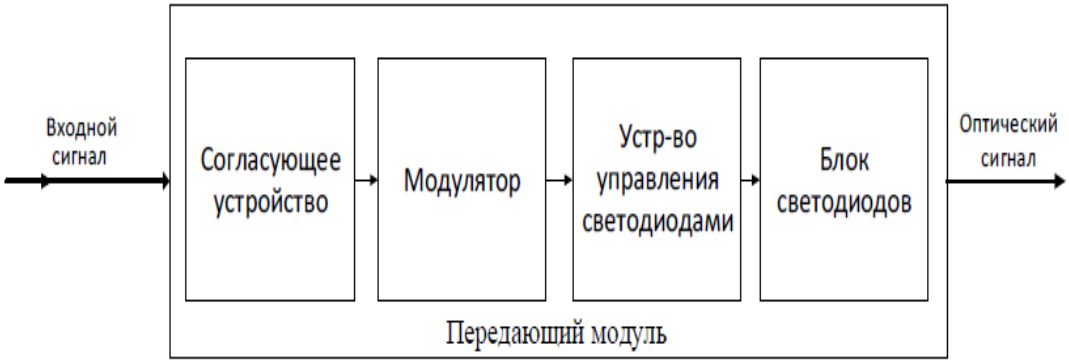


Рисунок 2.4 - Структурная схема передающего модуля Li-fi X Access Point

Для анализа особенностей внедрения системы VLC (Li-fi) выбрано помещение длиной 18 метров, шириной 12 метров и высотой 3.4 метра. На современном рынке существует огромное множество светодиодов различного типа с разными характеристиками. В качестве оптического передатчика используется светодиодный модуль SP-02-W4, представленный на рисунке 2.5, который оснащен 7 светодиодами LXML-PWC1-0120 холодного белого цвета, припаянными к круглому основанию Sink PAD-II 40 мм. Технические характеристики светодиода SinkPAD-II представлены в таблице 2.4 [11].

Таблица 2.4 - Технические характеристики светодиода SinkPAD-II

Параметр	Значение
Цвет светодиода	белый
Минимальное количество люмен при 350мА	540
Стандартное количество люмен при 700мА	800

Стандартная длинна волны	6500К
Диапазон длин волн	От 4500К до 10000К
Угол луча	120°
Диапазон рабочих температур в° С	От -40 до 135
Размеры Д х Ш х В в мм	40 х 40 х 3.7
Цена	18.6$

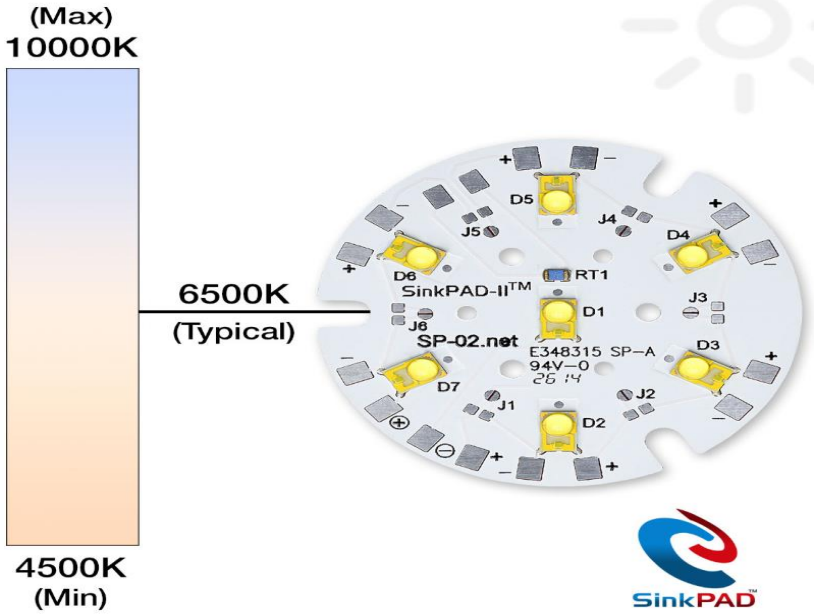


Рисунок 2.5 - Светодиодный модуль SinkPAD-II

В данной конструкции светодиодов на передающей стороне можно применить различные конфигурации использования, а именно:

- одного информационного светодиода в составе неинформационных;
- массива информационных светодиодов;
- блока светодиодов различных цветов.

В данной работе светодиоды в световом модуле будут установлены последовательно и являться массивом информационных светодиодов для улучшения качества передаваемого сигнала. Их мощность позволяет обойтись без дополнительных источников освещения.

2.3 Приемный модуль Li-fi XC

За последние семь лет PureLiFi выпустила ряд продуктов Li-Fi, таких как Li-1st, Li-Flame и Li-X. Их самый последний продукт - Li-Fi XC. Он в три раза меньше ключа Li-Fi X и обеспечивает легкую, высокоскоростную, безопасную и полностью сетевую беспроводную связь с помощью света. Это первая в мире сертифицированная система Li-Fi. Он совместим с устройствами USB 2.0 и поддерживает операционные системы Windows 10, Windows 8, Windows 7, Linux и Mac. Он способен поддерживать скорость

восходящей линии связи до 310 Мбит/с. Структурная схема приемного модуля Li-fi XC представлена на рисунке 2.6.

На приемной стороне используется кремниевый фотодиод с большой площадью VTD31AAH показанный на рисунке 2.7. Данный фотоприемник устанавливается непосредственно под передающим светодиодом в защитном корпусе LiFi -XC для обеспечения мобильности и приемопередачи сигнала. Его технические характеристике представлены в таблице 2.5.

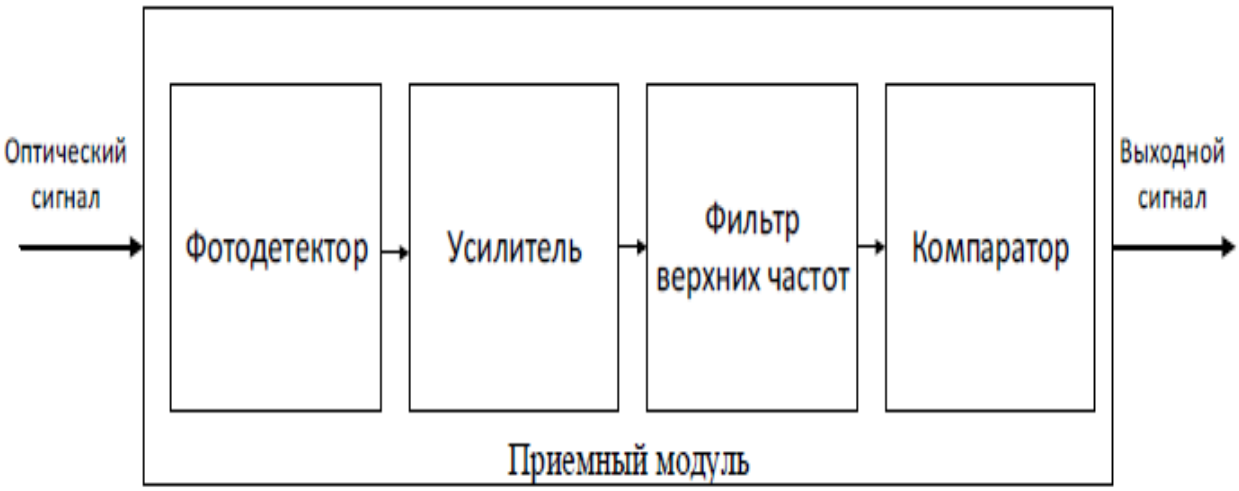


Рисунок 2.6 - Структурная схема приемного модуля Li-fi XC

Таблица 2.5 - Технические характеристики кремниевого фотодиода VTD31AAH

Параметр	Значение
Фоточувствительный диаметр	5.6 x 5.6 мм
Диапазон длин волн	400 – 1200 нм
Спектральный шумовой ток	1.4 нА\Гц$^{\frac{1}{2}}$
Чувствительность при 780нм	0.7 А\Вт
Емкость	60 пФ
Время отклика	2 нс
Темновой ток	5 нА

Рисунок 2.7 - Кремниевый фотодиод с большой площадьюVTD31AAH

Для вычисления максимального расстояния, на котором передача сигнала будет происходить с приемлемым коэффициентом ошибок, нужно учесть характеристики используемого оборудования представленные в таблице 2.6, а также эффекты рассеивания и поглощения видимого света в атмосфере. Для удовлетворения условия требуется, что бы отношение эффективного напряжения полезного сигнала к эффективному напряжению шума приемника (сигнал\шум) для цифровых систем было выше 6 дБ [4].

Таблица 2.6 - Основные параметры оптического передатчика и приемника

Параметр	Значение
Мощность оптического передатчика (1 светодиода из их массива)	220мВт х 7шт
Полоса пропускания	20 ТГц
Рабочая длинна волны	780нм
Токовая чувствительность фотодиода	0,96 А\Вт
Шумовой ток фотодетектора	0,014 пА/Гц

Подставив значения чувствительности фотодетектора и шумового тока,
можно вычислить внутренние шумы приемника

$$P_{шум} = \frac{0{,}014 \cdot 10^{-12}\frac{А}{Гц} \cdot 20 \cdot 10^{12}Гц}{0{,}96\frac{А}{Вт}} = 0{,}29\ (Вт). \qquad (2.1)$$

Тогда для мощности сигнала, требуемой на входе приемного модуля для обеспечения требуемого отношения сигнал/щум, можно записать как

$$P_{сигнал} = (10^{SNR/10}) \cdot P_{шум}, \quad (2.2)$$

$$P_{сигнал} = (10^{6дБ/10}) \cdot 0{,}29 \text{ Вт} = 0{,}72 \text{ (мВт)}.$$

Данный передатчик излучает сигнал мощностью 1,54 Вт, а минимально допустимое значение на входе приемника должно быть не ниже 0,72 Вт. С помощью закона Ламберта – Бера, можно вычислить придельное расстояние D, позволяющее обеспечить допустимое затухание:

$$K = e^{-(K_{атм} \cdot D)}, \quad (2.3)$$

где K – коэффициент затухания;

D – расстояние;

$K_{атм}$ – показатель поглощения атмосферы.

В рассматриваемом случае показатель поглощения связан с длиной волны излучения 780 нм и безразмерным показателем поглощения в атмосфере, равным 75 дБ

$$K_{атм} = \frac{4\pi k}{\lambda} = \frac{4\pi \cdot 75дБ}{780нм} = 0{,}56\%. \quad (2.4)$$

Подставив значения, выразим D из формулы (1.3)

$$D = -\frac{(\ln K)}{K_{атм}} = -\frac{(\ln 0{,}09)}{0{,}56} = 4{,}3 \text{ (м)}.$$

При установке всех фотоприемных устройств на поверхности стола (высоту стола брать равной 1 м), а максимальное расстояние, которое может пройти сигнал без критического затухания D = 4,3 метра, можно найти площадь покрытия 1 светодиодного передатчика LiFi-X Access Point по формуле

$$S = \pi \cdot R = \pi \cdot (D^2 - L^2), \quad (2.5)$$

где L – длинна нормали от передатчика к приемнику.

Подставив все значения в формулу (2.5) получим

$$S = \pi \cdot (4{,}3^2 - 2{,}4^2) \approx 40(м^2).$$

Так как площадь исследуемого помещения равна 216м^2, а один светодиод способен покрыть площадь в 40м^2, то для данного помещения следует установить 6 оптических передатчиков как показано на рисунке 2.8.

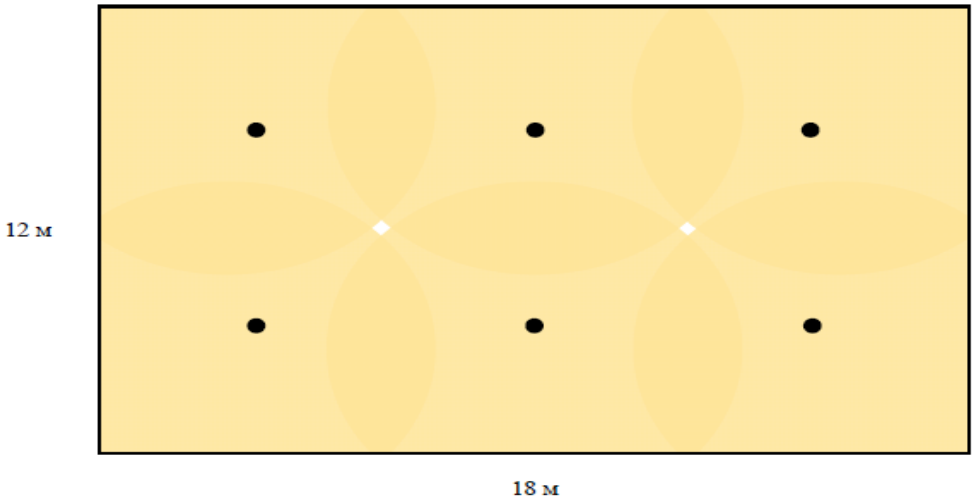


Рисунок 2.8 - Зона покрытия помещения информационного оптического излучения

2.4 Программирование

При проектировании беспроводной сети Li-fi была разработана программа расчета полосы пропускания светодиодов для удобства проведения расчетов. Программа разработана на языке Delphi 7.

Вид программы расчета полосы пропускания светодиодов представлен на рисунке 2.9. Код показан в приложении А.

Рисунок 2.9 - Вид программы расчета полосы пропускания светодиодов

3 Расчет пропускной способности сетей Li-Fi

Согласно теореме Шеннона – Хартли, пропускная способность C (верхняя граница скорости передачи), равна данной средней мощности сигнала S, который можно передать через аналоговый канал связи подверженный аддитивному белому гауссовскому шуму N [1].

$$C = B \cdot log_2(1 + S/N), \quad (3.1)$$

где C – пропускная способность канала, бит/с;

B – полоса пропускания, Гц;

S – полная мощность сигнала над полосой пропускания, Вт;

N – полная шумовая мощность над полосой пропускания, Вт.

В VLC технологии используются RGB светодиоды, поэтому у нас имеется 3 полосы пропускания : $B_R + B_G + B_B$. Спектр видимого света делится на:

Фиолетовый – 790-680 ТГц; синий – 680-620 ТГц; голубой – 620-600 ТГц; зеленый – 600-530 ТГц; желтый – 530-510 ТГц; оранжевый – 510-480 ТГц; красный – 480-400 ТГц. Отсюда следует что (теоретически) общая полоса пропускания составляет: 60 + 70 + 80 = 210 (ТГц).

Однако на практике современные светодиоды имеют доминантную длину волны не выше 8нм. Так, например, излучение используемого светодиода LXML-PWC1-0120 у синего света имеет длину волны от 460 до 465 нм, зелёного – от 530 до 535 нм, красного – от 620 до 630 нм. Следовательно, можно определить ширину полосы пропускания светодиодов для каждого света

$$B_B = \frac{\upsilon}{\lambda_{B\,min}} - \frac{\upsilon}{\lambda_{B\,max}} = \left(\frac{299792458}{460-10^{-9}} - \frac{299792458}{465-10^{-9}}\right) * 10^{12} = 7 \text{ (ТГц)},$$

$$B_G = \frac{\upsilon}{\lambda_{G\,min}} - \frac{\upsilon}{\lambda_{G\,max}} = \left(\frac{299792458}{530-10^{-9}} - \frac{299792458}{535-10^{-9}}\right) * 10^{12} = 5{,}3 \text{ (ТГц)},$$

$$B_R = \frac{\upsilon}{\lambda_{R\,min}} - \frac{\upsilon}{\lambda_{R\,min}} = \left(\frac{299792458}{620-10^{-9}} - \frac{299792458}{630-10^{-9}}\right) * 10^{12} = 7{,}7 \text{ (ТГц)},$$

где υ – скорость электромагнитной волны в вакууме, м/с;

$\lambda_{B\,min}$ – минимальное значение длины волны светодиода с излучением синего цвета, нм;

$\lambda_{B\,max}$ – максимальное значение длины волны светодиода с излучением синего цвета, нм;

$\lambda_{G\,min}$– минимальное значение длины волны светодиода с излучением зелёного цвета, нм;

$\lambda_{G\,max}$ – максимальное значение длины волны светодиода с излучением зелёного цвета, нм;

$\lambda_{R\,min}$ – минимальное значение длины волны светодиода с излучением красного цвета, нм;

$\lambda_{R\,min}$– максимальное значение длины волны светодиода с излучением красного цвета, нм.

Следовательно

$$B_R + B_G + B_B = 7{,}7 + 5{,}3 + 7 = 20 \text{ (ТГц)}.$$

Мощность сигнала S, то есть в данном случае световая мощность в соответствующем потоке излучения оценивается световым потоком Ф. Светодиодный модуль белого света SP-02-W4 компании SinkPAD, имеет начальный световой поток в 800 лм.

$$S_0 = \Phi_0 = 800 \text{ (лм)},$$

где S_0 – начальная мощность сигнала, лм;

Φ_0– начальное значение светового потока, лм.

Искусственное и природное освещение, загазованность воздуха являются основными видами помех и шумов в VLC. Они влияют на уровень освещенности, поэтому его можно использовать для нахождения уровня шума. Начальное значение светового потока Φ_0 может быть выражено в люксах как единица освещённости, так как 1 люкс равен освещённости поверхности площадью 1 м² при световом потоке падающего на неё излучения, равном 1 лм

$$E_0 = \frac{\Phi_0}{1} = 800 \text{ (лк)}.$$

Зная исходное значение светового потока, можно определить силу света

$$I = \frac{\Phi_0}{\omega}, \tag{3.2}$$

где ω – телесный угол.

Также известно, что телесный угол при вершине прямого кругового конуса с углом раствора 2 ·α равен

$$\omega = 2\pi \cdot (1 - \cos(\alpha)), \tag{3.3}$$

$$I = \frac{\Phi_0}{2\pi(1 - \cos(\alpha))}. \tag{3.4}$$

Таким образом, можно определить зависимость мощности света передатчика данных Li-Fi в той или иной точке, от расстояния и угла до принимающего оборудования по формуле

$$S_n = \frac{I}{r_n^2}\cos(i_n), \tag{3.5}$$

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.

Зная, что мощность шума N в данном случае может оцениваться как уровень общей освещенности $E_{о\ бщ}$, которая содержит в себе искусственную освещенность $E_{иск}$, а так же естественную освещенность $E_{ест}$ и отраженную (глянцевые поверхности, белые стены, зеркала и др.) освещенность $E_{о\ тр}$ [1]

$$N = E_{о\ бщ} = E_{ест} + E_{иск} + E_{о\ тр} =$$

$$= \frac{I_{ест}}{r_{ест}^2}\cos(i_{ест}) + \frac{I_{иск}}{r_{иск}^2}\cos(i_{иск}) + \frac{I_{о\ тр}}{r_{о\ тр}^2}\cos(i_{о\ тр}), \tag{3.6}$$

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

$r_{ест}^2$ - расстояние до естественных источников света, м;

$i_{ест}$ - угол падения лучей естественных источников света относительно нормали к поверхности, рад;

$I_{иск}$ - сила света искусственных источников света, кд;

$r_{иск}^2$ - расстояние до искусственных источников света, м;

$i_{иск}$ - угол падения лучей искусственных источников света относительно нормали к поверхности, рад;

$I_{о\ тр}$ - сила отражённого света, кд;

$r_{о\ тр}^2$ -расстояние до источника отражённого света, м;

$i_{о\ тр}$ -угол падения лучей отражённого света относительно нормали к поверхности, рад.

Для расчётов в качестве $E_{иск}$ могут быть использованы требуемые значения освещённости различных помещений, которые указаны в таблице 3.1, а значение $E_{ест}$ при нормальных условиях в офисных помещениях можно брать в 100лк.

Таблица 3.1 - Нормируемые показатели освещения основных помещений общественного здания, а также сопутствующих им производственных помещений [1]

Тип помещения	Необходимая

	о свещенно сть, лк
Учебные кабинеты техническо го черчения и рисо вания	500
По мещения для рабо ты с дисплеями и видео терминалами, залы ЭВМ	400
Аудито рии, учебные кабинеты, лабо рато рии в техникумах и высших учебных заведениях	400
Мастерские по о брабо тке металло в и древесины	300
Макетные, сто лярные, ремо нтные мастерские	300
Кабинеты, рабо чие ко мнаты, о фисы, представительства	300
Ко нференц-залы, залы заседаний	200
Вестибюли и гардеро бные улично й о дежды: в вузах, шко лах, о бщежитиях, го стиницах, при вхо дах в крупные о бщественные здания	150
Лестницы: главные лестничные клетки, тамбуры	100
Книго хранилища, архивы, фо нды о ткрыто го до ступа	100

Со гласно изло женным правилам и но рмам, расчётно е значение средневзвешенно го ко эффициента о тражения внутренних по верхно стей по мещений $\boldsymbol{k}_{\text{о тр}}$ в но рмальных усло виях следует принимать равным 0,5.

$$\text{E}_{\text{о тр}} = \text{E}_{\text{иск}} \cdot \boldsymbol{k}_{\text{о тр}} = \text{E}_{\text{иск}} \cdot 0{,}5.$$

Следо вательно

$$\text{C}_n = (B_R + B_G + B_B)\, log_2(1 + \frac{I \cdot cos(i_n)}{\left(\text{E}_{\text{ест}} + \text{E}_{\text{иск}} + \text{E}_{\text{о тр}}\right) \cdot r_n^2}) \,. \qquad (3.7)$$

В данно м о фисно м по мещении испо льзуется свето дио дный мо дуль бело го света SP-02-W4 со свето вым по то ко м в 1600 лм и диаграммо й направленно сти прямо го круго во го ко нуса ко то рая дает следующую силу света по фо рмуле (3.4)

$$\text{I} = \frac{800}{2\pi(1 - cos(\alpha))}.$$

Если приемно е устро йство распо лагается не прямо по д излучателем, а например в 45^0 о т него , то

$$\text{I} = \frac{800}{2\pi(1 - cos(45))} = 270 \text{ (кд)}.$$

Однако угол падения лучей относительно нормали от передатчика к приемнику измеряется в радианах, то необходимо перевести значения угла вградусах в радианы по формуле

$$i_n = i_{ng}\frac{\pi}{180}, \tag{3.8}$$

где i_{ng} - угол падения лучей света относительно нормали от передатчика к приемнику Li-Fi.

В таком случае мы получаем следующую пропускную способность

$$C = (7{,}7 + 5{,}3 + 7)10^{12} \cdot log_2(1 + \frac{270\cos(\frac{45\pi}{180})}{(100 + 400 + 200)\cdot\ 11{,}5})\ 10^{-9} = 197\ (\text{Гб/с}).$$

Следует отметить, что в реальном помещении угол падения света излучающей светодиодной лампы относительно нормали к поверхности будет зависеть от соотношения расстояния r, от фотоприемника до передатчика по линии прямой видимости и расстояния h, равного отрезку от уровня высоты расположения фотоприёмника до уровня высоты подвеса светодиодной лампы, которая передает данные следующим образом

$$i = \arccos(\frac{h}{r}), \tag{3.9}$$

где h – это отрезок, равный расстоянию от уровня высоты расположения фотоприёмника до уровня высоты подвеса лампы, которая передает данные, м.

Зная что h равен 2,4 метра, так как высота подвеса светодиода = 3,4 м, а высота стола на котором находится приемник = 1м, при этом в системах VLC PureLifi с использованием OFDM ширина полосы пропускания поднесущей в среднем равна 0,7 ТГц, следовательно используя формулы (3.9, 3.7) можно найти пропускную способность для искомого помещения с используемым оборудованием.

$$C = 0{,}7\cdot\ 10^{12} \cdot log_2(1 + \frac{269\cos(\arccos(\frac{2{,}4}{3{,}4}))}{(100 + 400 + 200)\cdot\ 11{,}5})\ 10^{-9} = 23{,}1\ (\text{Гбит/с}).$$

Однако на практике в системах VLC для передачи сигнала абоненту, используется не весь спектр в 20ТГц, а лишь малая его часть, деля его таким образом для передачи данных другим абонентам. Так же скорость передачи зависит от светодиодов, а точнее от максимально возможной скорости их мерцания (то есть та, за пределами которой светодиоды выходят из строя) и скорость восприятия данных приемного устройства (фотодиода). В

настоящее время на практике, при использовании оборудования компании pureLiFi для дуплексной связи, ограничение пропускной способности канала сетей Li-Fi создаёт использование технологии Giga-IR (гигабитное инфракрасное излучение) для обратной связи, которая обладает пропускной способностью в 1 Гбит/с.

Помехозащищенность оптического канала связи можно определить по следующей формуле

$$A = 10\log_{10}\frac{S_{min}}{N} = 10\log_{10}\left(\frac{I\cdot\cos\left(\arccos\frac{h}{r_n}\right)}{\left(E_{ест} + E_{иск} + E_{отр}\right)\cdot r_n^2}\right), \qquad (3.10)$$

где A – уровень помехозащищенности оптического канала связи, дБ;

S_{min} – минимальная мощность света, лм. Высокое значение A означает низкое влияние шума на сигнал.

Для дальнейших примеров расчетов для наглядности пропускная способность канала будет выражаться в Мбит/с в логарифмическом масштабе, угол падения лучей света от передатчика к источнику в градусах, с шириной полосы пропускания в 1 ТГц, в помещении освещенностью в 400лк от искусственных источников света и 100лк от естественного освещения и коэффициентом отражения внутренних поверхностей помещения равным 0,5, а так же будут использоваться другие виды светодиодов с различными показателями силы света, при B = 1ТГц, $E_{общ}$ = 700лм, представлены на рисунке 3.1.

Зависимость пропускной способности сети Li-Fi от расстояния при различных показателях силы света (30кд, 100кд, 270кд, 500кд, 700кд и1000кд), ширины полосы пропускания равной 1 ТГц и общей освещенности равной 700 люкс, приведены в таблицах 3.2 и 3.3 [1].

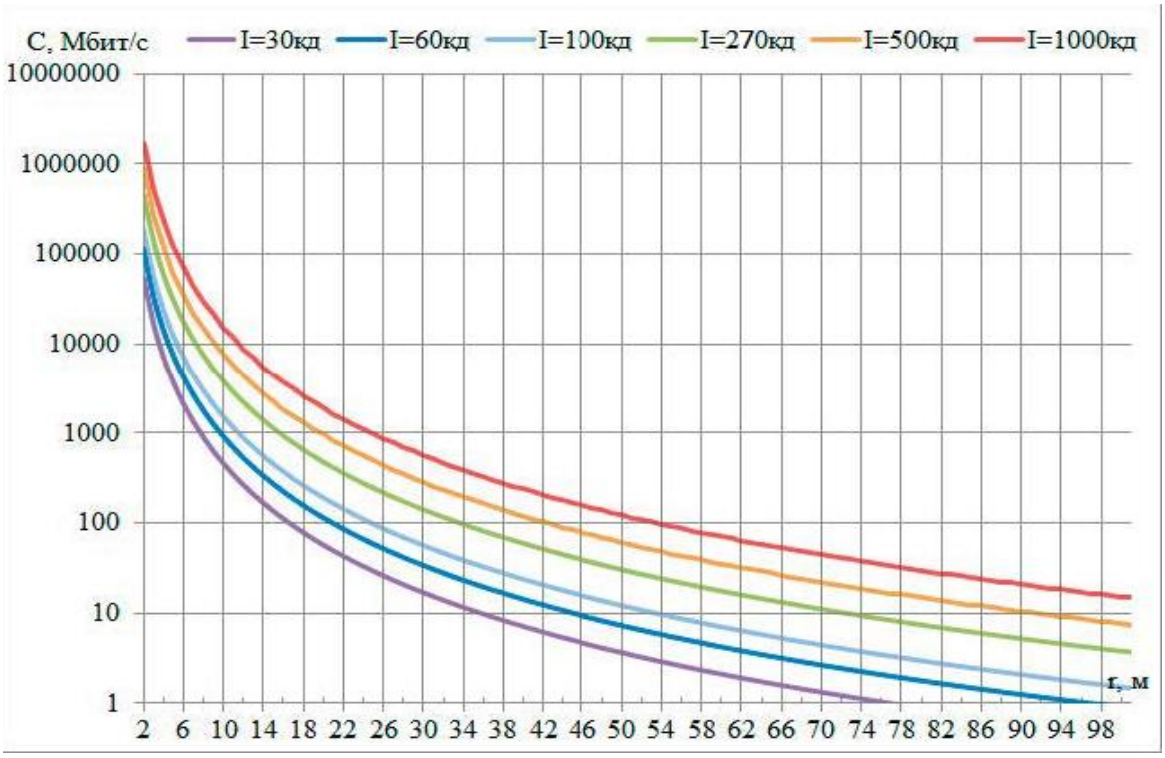


Рисунок 3.1 - Зависимость пропускной способности сети VLC

Таблица 3.2 - Зависимость пропускной способности сети Li-Fi от расстояния r при различных показателях I, B = 1 ТГц, $E_{о\ общ}$ = 700 лк

I = 30кд			I = 100кд			I = 270кд		
r,м	$i_{,}^{0}$	C, Мбит/с	r,м	$i_{,}^{0}$	C, Мбит/с	r,м	$i_{,}^{0}$	C, Мбит/с
2	25	5702,15	2	25	5702,15	2	25	5702,15
3	30	1694,29	3	30	1694,29	3	30	1694,29
4	35	711,85	4	35	711,85	4	35	711,85
5	40	388,64	5	40	388,64	5	40	388,64
8	45	210,12	8	45	210,12	8	45	210,12
11	50	103,92	11	50	103,92	11	50	103,92
14	55	70,34	14	55	70,34	14	55	70,34
17	60	54,19	17	60	54,19	17	60	54,19
20	65	30,74	20	65	30,74	20	65	30,74
25	70	16,18	25	70	16,18	25	70	16,18
30	75	7,3	30	75	7,3	30	75	7,3
35	80	3,75	35	80	3,75	35	80	3,75
40	85	1,65	40	85	1,65	40	85	1,65

Таблица 3.3 - Зависимость пропускной способности сети Li-Fi от расстояния r при различных показателях I, B = 1 ТГц, $E_{о\ общ}$ = 700 лк

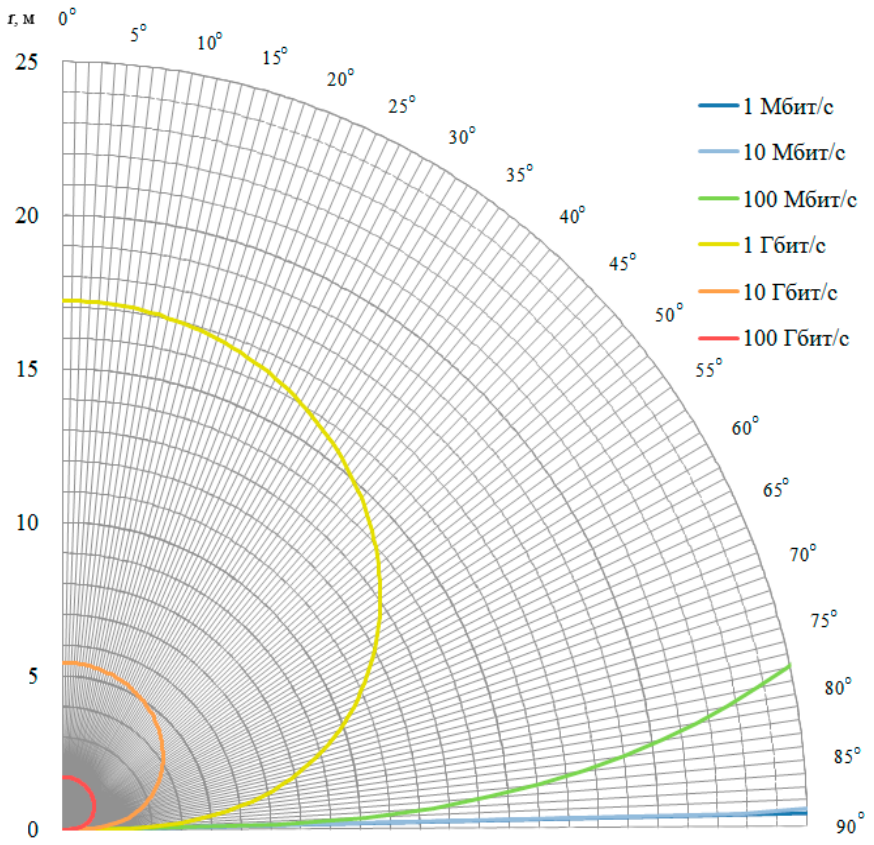
I = 500кд			I = 700кд			I = 1000кд		
r,м	$i_{,}^{0}$	C, Мбит/с	r,м	$i_{,}^{0}$	C, Мбит/с	r,м	$i_{,}^{0}$	C, Мбит/с
2	25	89890,26	2	25	89890,26	2	25	89890,26
3	30	27755,65	3	30	27755,65	3	30	27755,65
4	35	11835,73	4	35	11835,73	4	35	11835,73
5	40	6081,93	5	40	6081,93	5	40	6081,93
8	45	3525,13	8	45	3525,13	8	45	3525,13
11	50	2221,94	11	50	2221,94	11	50	2221,94
14	55	1489,43	14	55	1489,43	14	55	1489,43
17	60	1046,77	17	60	1046,77	17	60	1046,77
20	65	762,04	20	65	762,04	20	65	762,04
25	70	573,77	25	70	573,77	25	70	573,77
30	75	441,31	30	75	441,31	30	75	441,31
35	80	347,97	35	80	347,97	35	80	347,97
40	85	278,78	40	85	278,78	40	85	278,78

График областей пропускной способности сетей Li-Fi при разных параметрах силы света показан на рисунке 3.2. Зависимость помехозащищенности оптического канала связи сети Li-fi от расстояния и различных показателях силы света показан на рисунке 3.3 [1].

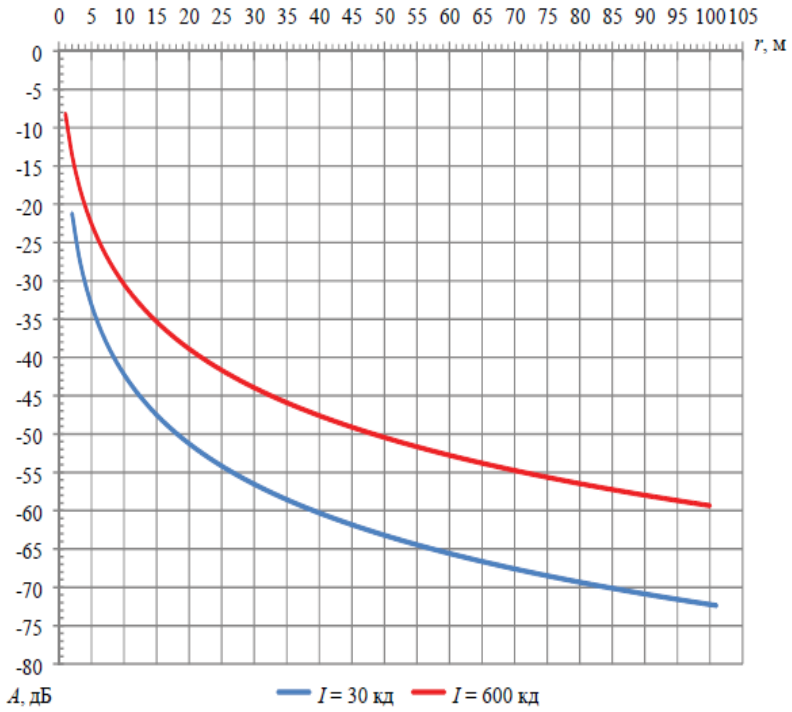
Зависимость помехозащищенности от расстояния между передатчиком и приемником в сети Li-Fi помещении с высотой потолка 3,4 м, на котором располагается передатчик, и высотой рабочего стола 1 м, на котором располагается приемник, будет определена для двух случаев:

а) при большом значении силы света светодиодного излучателя в 600 кд с ламбертовской диаграммой направленности светового излучения и при высоком значении окружающей освещенности (100 лк от естественных источников света и 400 лк от искусственных источников, коэффициент отражения 79 внутренних поверхностей помещения 0,5);

б) при малом значении силы света светодиодного излучателя в 30 кд с ламбертовской диаграммой направленности светового излучения и при высоком значении окружающей освещенности (100 лк от естественных источников света и 400 лк от искусственных источников, коэффициент отражения внутренних поверхностей помещения 0,5).



Рисуно к 3.2 - О бласти различно й про пускно й спо со бно сти сети Li-Fi при I = 270 кд, B = 1 ТГц, $E_{о\ бщ}$ = 700 лк



Рисуно к 3.3 - Зависимо сть по мехо защищенно сти о птическо го канала сети Li-Fi о т рассто яния r, при $E_{о\ бщ}$= 700 лк

4 Расчет волоконно-оптической линии связи

В данной работе два филиала одного банка, находящихся в разных городах РК (Нур-Султан - Алматы), объединены волоконно-оптической линией связи (ВОЛС). Протяженность автомобильной дороги между оконечными пунктами (ОП) равняется 1268 км. Для расчета проложенной волоконно-оптической трассы необходимо учитывать: протяженность трассы, наличие и сложность пересечения рек, железных и шоссейных дорог, трубопроводов, характер местности, почв, грунтовых вод, возможность применения механизированной прокладки, необходимость защиты сооружений связи от электромагнитных влияний и коррозии, возможность и условия доставки грузов (материалов, оборудования) на трассу, жилищно-бытовые условия и возможность размещения обслуживающего персонала. Исходя из этих требований, предпочтение отдается прокладке кабеля вдоль автомобильных дорог. Также важным элементом является размещение обслуживаемых и необслуживаемых регенерационных пунктов (ОРП), находящихся на трассе ВОЛС.

ВОЛС проходящий вдоль автомобильной дороги г. Нур-Султан – г. Темиртау – г. Караганда – с. Аксу – г. Балхаш – с. Улькен — с. Каншенгель – с. Шамалган – г. Алматы, показан на рисунке 4.1. Характеристика автомобильной дороги Нур-Султан – Алматы приведена в таблице 4.1.

Рисунок 4.1 - ВОЛС вдоль автомобильной дороги Нур-Султан – Алматы

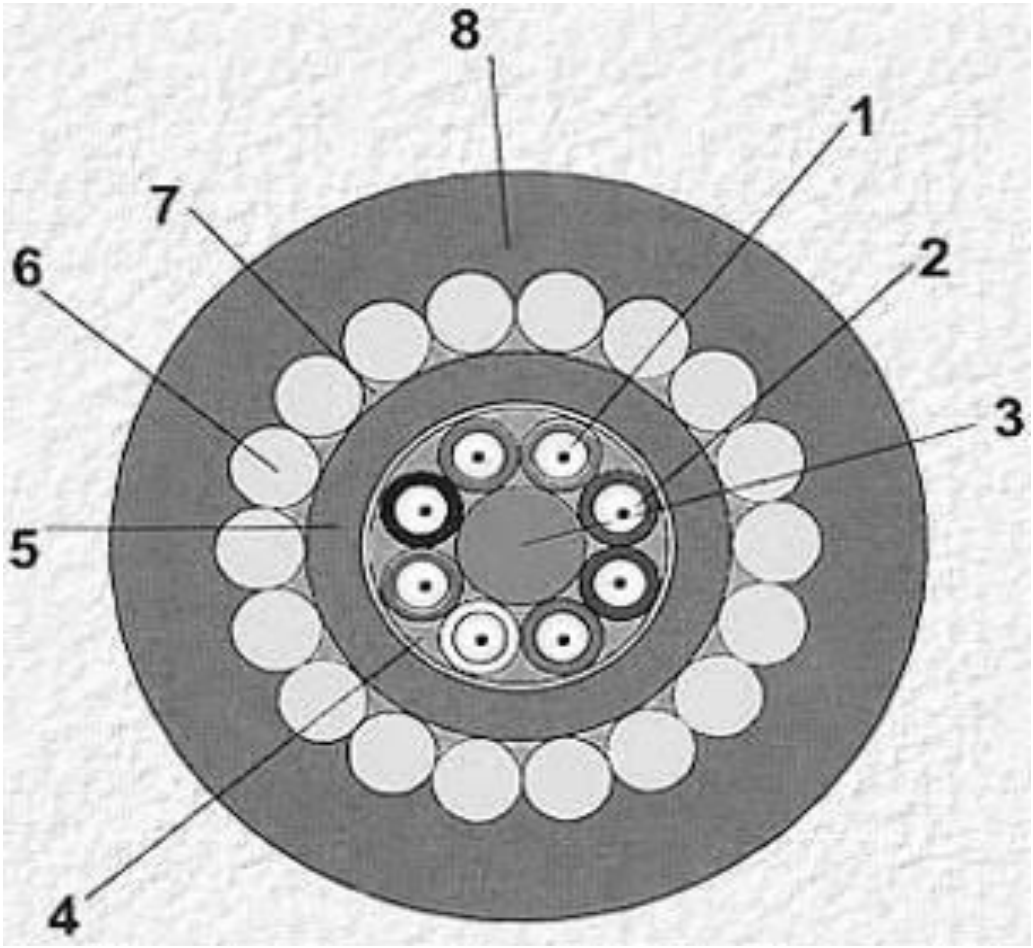
Таблица 4.1 - Характеристика автомобильной дороги Нур-Султан – Алматы

Показатели	Значения								
	Всего	ОП1-ОРП2	ОРП2–ОРП3	ОРП3-ОРП4	ОРП4-ОРП5	ОРП5-ОРП6	ОРП6-ОРП7	ОРП7-ОРП8	ОРП8-ОП9
Протяженность трассы	1288	184	58	134	256	265	137	208	36
Переходы через дороги	74	15	7	6	9	6	7	10	18
Автомобильные	63	14	4	6	7	4	6	7	13
Железные дороги	11	1	3	0	2	2	1	3	5
Переходы через реки,	14	4	2	1	4	1	2	0	0
Судоходные	2	1	0	0	1	0	0	0	0
Несудоходные	12	3	2	1	3	1	2	0	0

На данной трассе используется оптический кабель марки ОКБ-М8П-10-0,22-8. В таблице 4.2 приведена характеристика оптического кабеля, а на рисунке 4.2 его конструкция.

Таблица 4.2 – Характеристика оптического кабеля

Характеристика	Значение
Тип сердечника	Повивной
Тип оптических волокон	Одномодовое
Число оптических волокон	8
Материал силового элемента	Стеклопластиковый пруток
Материал влагозащитной оболочки	Полиэтиленовая оболочка
Тип защитного покрытия	Стальная ламинированная гофрированная лента
Строительная длина, км	5
Допустимое тяговое усилие, кН	10 - 20



Рисуно к 4.2 – Ко нструкция кабеля О КБ-М8П-10-0,22-8

На рисунке 4.2 по казаны следующие элементы:

а) о птическо е во ло кно ;

б) внутримо дульный гидро фо бный запо лнитель;

в) центральный сило во й элемент: стекло пластико вый пруто к;

г) межмо дульный гидро фо бный запо лнитель;

д) про межуто чная о бо ло чка из по лиэтилена;

е) бро ня из стально й о цинко ванно й про во ло ки;

ж) гидро фо бный запо лнитель;

и) защитная о бо ло чка из по лиэтилена.

В маркиро вке кабеля О КБ-М8П-10-0,22-8 приняты следующие о бо значения:

О К – о птический кабель с по лиэтилено во й о бо ло чко й;

Б – бро ня из стально й про во ло ки;

М – бро ня из стально й ламиниро ванно й го фриро ванно й ленты;

8 – ко личество о птических мо дулей;

П – тип центрально го сило во го элемента (стекло пластико вый пруто к);

10 – тип о птическо го во ло кна (О О В, МО В);

0,22 – предельно е значение затухания на рабо чей длине во лны, дБ/км;

8 – количество оптических волокон.

4.1 Расчет параметров оптического кабеля

Для расчета используется одномодовые волокна со ступенчатым профилем показателя преломления (ППП). Для осуществления в данном световоде одномодового режима, необходимо, что бы нормированная частота V не превышала 2,4. Величина V определяется по формуле [5]

$$V = \frac{a\pi}{\lambda} NA, \tag{4.1}$$

где a - диаметр сердечника световода;

λ - длина волны излучения;

NA- числовая апертура волоконного световода;

Апертура – это угол между оптической осью и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец волоконного световода, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения.

Числовая аппертура рассчитывается по формуле

$$NA = n_0 \sin\theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1\sqrt{1-(1-\Delta_n)^2}\,, \tag{4.2}$$

где θ_a- апертурный угол световода;

n_1 - показатель преломления сердцевины;

n_2 - показатель преломления оболочки.

Δ_n- относительная разность показателей преломления сердцевины и оболочки.

$$\Delta_n = \frac{n_1 - n_2}{n_1}\,.$$

Подставив значения в формулу (4.3) получим

(4.3)

$$\Delta_n = \frac{1{,}465 \quad -1{,}461}{1{,}465} = 0{,}002.$$

Зная показатели преломления сердцевины и оболочки, которые указываются заводом – изготовителем (n_1 = 1,465, n_2 = 1,461, $\Delta_n = 0{,}002$) можно найти апертурный угол световода подставив значения в формулу (4.2)

$$NA = 1{,}465^2 - 1{,}461^2 = 0{,}1008.$$

Согласно рекомендации ITU-T для одномодовых волокон, значение NA должно лежать в пределах от 0,1 до 0,12, что полностью удовлетворено.

Режим работы оптического волокна определяется нормированной частотой. Нормированная частота оптического волокна рассчитывается по формуле

$$V = \frac{\pi \cdot d_c}{\lambda} \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (4.4)$$

где λ - длина волны излучателя равная 1,33 мкм;

d_c - диаметр сердцевины оптического волокна, мкм.

В одномодовом волокне наиболее часто встречающийся диаметр жилы составляет порядка 10 мкм.

Определим значение нормированной частоты подставив значения в формулу(3.4), при λ = 1,53мкм

$$V = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}14}{1{,}53 \cdot 10^{-6}} \cdot 1{,}008 = 1{,}94, \quad (4.5)$$

Таким образом в волоконно-оптическом световоде будет существовать одномодовый режим со ступенчатым ППП и параметрами:

а) n1 = 1,465;

б) Δ_n = 0,002;

в) NA = 0,09;

г) a = 10 мкм;

д) λ = 1,5 мкм.

Любой волоконно-оптический световод характеризуется таким немаловажным параметром как дисперсия.

Дисперсия - это рассеяние во времени спектральных или модовых составляющих оптического сигнала. Дисперсия приводит к увеличению длительности импульса при прохождении по оптическому каналу (ОК). Дисперсия не только ограничивает частотный диапазон использования световодов, но и снижает дальность передачи по оптическому каналу (ОК), так как чем длиннее линия, тем больше проявляется дисперсия и больше уширение импульса [5].

Различают три вида дисперсии волоконного световода:

- межмодовая;
- материальная;
- волноводная.

Модовая дисперсия возникает при распространении в световоде нескольких мод. В одномодовых световодах модовая дисперсия отсутствует.

Материальная дисперсия обусловлена зависимостью показателя преломления материала сердечника от длины волны.

Волновая дисперсия объясняется зависимостью постоянной распространения от длины волны, т.к. источник излучения излучает не

строго одну длину волны λ, а некоторый спектр волн, который характеризуется значением спектральной ширины источника Δλ.

Материальная дисперсия определяется по следующей формуле [6]

$$\tau_{\text{МАТ}} = \Delta\lambda \cdot \text{M}, \tag{4.6}$$

где M - коэффициент удельной материальной дисперсии для плавленого кварца (M = 0,3098);

Δλ - спектральная ширина лазера (Δλ = 2,7нм);

$$\tau_{\text{МАТ}} = 2{,}7 \cdot 10^{-9} \cdot 0{,}3098 = 0{,}83 \cdot 10^{-9}.$$

Волноводная дисперсия для ступенчатого световода определяется по формуле

$$\tau_{\text{ВВ}} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot \frac{2n_1^2 \cdot \Delta}{c}, \tag{4.7}$$

где c - скорость света в вакууме ($3 \cdot 10^8$ м/с).

Подставив значения в формулу (4.7) получим

$$\tau_{\text{ВВ}} = \frac{2{,}7 \cdot 10^{-9}}{1{,}5 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{2 \cdot 1{,}465^2 \cdot 0{,}002}{3 \cdot 10^8} = 0{,}051 \cdot 10^{-9}.$$

Суммарная дисперсия одномодового волоконно-оптического световода является суммой материальной и волноводной дисперсии

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{\text{МАТ}} + \tau_{\text{ВВ}}, \tag{4.8}$$

$$\tau_{\Sigma} = 0{,}83 \cdot 10^{-9} + 0{,}095 \cdot 10^{-9} = 0{,}925 \cdot 10^{-9}.$$

С помощью общей дисперсии можно определить ширину полосы пропускания световода ΔF. Это величина, обратная к величине уширения импульса при прохождении по оптическому волокну расстояния в 1км

$$\Delta\text{F} = \frac{1}{|\tau_{\Sigma}|}, \tag{4.9}$$

$$\Delta\text{F} = \frac{1}{|0{,}925 \cdot 10^{-9}|} = 1{,}08 \text{ (ГГц/км)}.$$

4.2 Расчет длины участка регенерации ВОЛС

Длина участка регенерации определяется двумя факторами: дисперсией световода и коэффициентом затухания.

Определим длину участка регенерации по дисперсионной характеристике световода:

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_X} = \sqrt{\frac{L_X}{L}}, \tag{4.10}$$

где ΔF - ширина полосы пропускания 1 км световода;

ΔF_X - ширина полосы пропускания в конце участка регенерации;

L - строительная длина (L= 5 км);

Lx - длина участка регенерации.

Для дальнейших расчетов примем ΔFx = 620 МГц.

Выразим величину Lx из формулы (4.10)

$$L_X = \frac{\Delta F^2}{\Delta F_X^2} \cdot L, \tag{4.11}$$

$$L_X = \frac{(1{,}08 \cdot 10^9)^2}{(620 \cdot 10^6)^2} \cdot 5 = 15{,}1 \text{ (км)}.$$

Теперь необходимо рассчитывать две величины длины участка регенерации по затуханию:

- $L_{A\,MAX}$ – максимальная проектная длина участка регенерации;
- $L_{A\,MIN}$ – минимальная проектная длина участка регенерации.

Для оценки величины длин участка регенерации могут быть использованы следующие выражения

$$L_{A\,MAX} = \frac{A_{MAX} - M - n \cdot A_{pc}}{A_{OK} + A_{HC}/L_{CTP}}, \tag{4.12}$$

$$L_{A\,MIN} = \frac{A_{MIN}}{A_{OK} + A_{HC}/L_{CTP}}, \tag{4.13}$$

где A_{MAX}, A_{MIN} (дБ) – максимальное и минимальное значения перекрываемого затухания аппаратуры ВОСП, обеспечивающее к концу срока службы значение коэффициента ошибок не более $1 \cdot 10^{-10}$;

A_{OK} (дБ/км) – километрическое затухание в оптических волокнах кабеля;

A_{HC} (дБ) – среднее значение затухания мощности оптического излучения неразъемного оптического соединителя

на стыке между строительными длинами кабеля на участке регенерации;

$L_{СТР}$ (км) – среднее значение строительной длины кабеля на участке регенерации;

$A_{рс}$ (дБ) – затухание мощности оптического излучения разъемного оптического соединителя;

n–число разъемных оптических соединителей на участке регенерации;

М (дБ) – системный запас ВОЛС по кабелю на участке регенерации.

$$L_{A\ MAX} = \frac{12-5-2\cdot 1}{0{,}22+1/5} = 20{,}8\ (км),$$

$$L_{A\ MIN} = \frac{3}{0{,}22+1/5} = 12{,}5\ (км).$$

4.3 Расчет помехозащищенности в когерентных ВОЛС

Отношение сигнал-шум определяется по формуле[12]

$$С - Ш = P\eta/(hfBM^X), \tag{4.14}$$

где P – уровень чувствительности;

h – постоянная Планка, $h=6.62\cdot 10^{-34}$ (Вт·с/Гц);

f – частота оптического излучения.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3\cdot 10^8}{1{,}53\cdot 10^{-6}} = 1{,}96\cdot 10^{14}.$$

η - квантовая эффективность фотодиода, находим по формуле

$$\eta = \frac{2{,}7\cdot 6{,}62\cdot 10^{-34}\cdot 1{,}96\cdot 10^{14}}{1{,}6\cdot 10^{-19}} = 2{,}1. \tag{4.15}$$

Подставив значения в формулу (4.14), определим отношение сигнал шум

$$С/Ш = \frac{\mathbf{150\cdot 10^{-9}\cdot 2{,}1}}{(\mathbf{6{,}62\cdot 10^{-34}\cdot 1{,}96\cdot 10^{14}\cdot 620\cdot 10^{6}\cdot 30})} = 130{,}5\ (дБ).$$

5 Безопасность жизнедеятельности

Цель данного раздела является анализ санитарно-гигиенических условий труда, идентификации, оценке вредных производственных

факторов рабочего места, включающего вычислительную технику и принятии защитных мер. Во избежание вредного воздействия при работе с вычислительной техникой рекомендуют соблюдать соответствующие меры безопасности, правильно планировать рабочее место и график работы.

Основным законом трудового законодательства является закон о труде (ЗОТ). ЗОТ содержит основные положения об охране труда, устанавливает рабочее время для рабочих и служащих, время отдыха, условия труда для женщин и несовершеннолетних. ЗОТ устанавливает ответственность администрации предприятия за травматизм на производстве, порядок надзора и контроля за выполнением требований по технике безопасности. Техника безопасности, являющаяся основной частью охраны труда, предусматривает технические и организационные мероприятия, обеспечивающие безопасный труд. Для отрасли электронной промышленности разработаны специальные правила безопасности, которые утверждены Госкоминспекцией, Госэнергонадзором, Главным управлением пожарной охраны (ГУПО).

5.1 Анализ условий труда

Анализ условий труда комнаты службы безопасности является необходимой мерой для обеспечения безопасности работников и контроля безопасности всего отделения банка. Предполагается, что комната рассчитана для 3х человек. Работа производится в дневную смену. План приведен на рисунке 5.1.

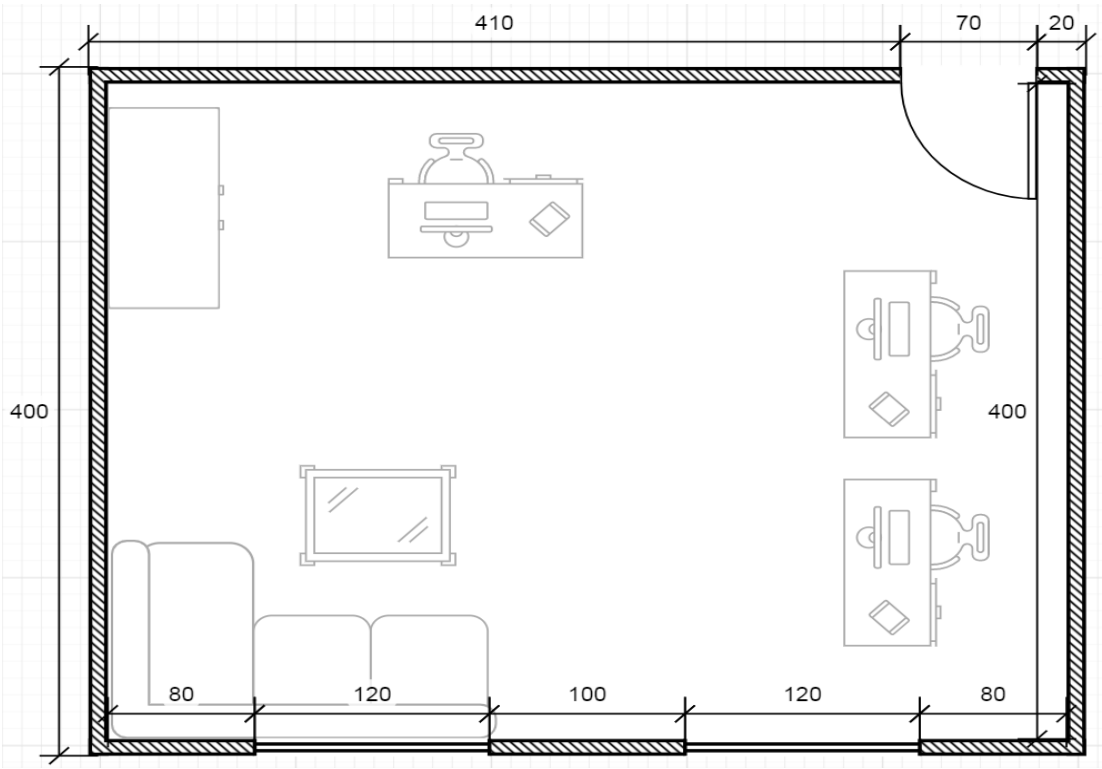


Рисунок 5.1 – План помещения комнаты службы безопасности

Произведём анализ условий труда в помещении, прямоугольной формы, представляет собой комнату с одной дверью и двумя окнами, общей площадью $S_{ок}$ = 3,6 м^2. Размеры помещения составляют 5 х 4 х 3,4 м. В данном помещении потолок выбелен (ρ=0,7), стены покрашены в белый цвет с коэффициентом отражения ρ = 0,5, напольный кавролин серого цвета (ρ = 0,3). Искусственное освещение в помещении осуществляется с использованием светодиодного светильника Gemera office 2*40 мощностью 36 Вт со световым потоком 3600лм. В помещении не имеется система кондиционирования воздуха, окна заблокированны.

Помимо персонального компьютера в помещении находится стулья, столы, тумба.

Персональные компьютеры установлены и размещены в соответствии с требованиями условий заводов-изготовителей и настоящих требований.

Для сотрудников созданы комфортные условия труда, такие как рабочее место и состояние внутренней среды помещения, обеспечивающие оптимальную динамику работоспособности, хорошее самочувствие и сохранение их здоровья.

Важным моментом организации рабочего места является определение занимаемой работником площади, которая позволяет удобно производительно проводить трудовой процесс. В соответсвии СанПиН 2.2.2. 548-96 площадь на одно рабочее место – не менее 6 м², объем – не менее 19,5 м² [7]. В данном помещении на одно рабочее место приходится 6,6 м², рабочего пространства, а объем составляет 22,6м^3. Организация рабочего места соответствует требованиям, изложенных в санитарных нормах и правилах. Категория работы на объекте относится к категории 1б (легкой физической тяжести), то есть производится стоя, сидя или связана с ходьбой и сопровождающаяся некоторым физическим напряжением, при котором выделяется энергия, которая составляет от 140 до 174 Дж·с.

Основной задачей кондиционирования и вентиляции в помещении является создание оптимального микроклимата для обеспечения высокой работоспособности без вреда для здоровья.

Система вентиляции и кондиционирования помещений такого типа должна выполнять следующие задачи:

- быстрый и точный контроль микроклимата;
- поддерживает определенную температуру, влажность и пыль;
- стабильность и непрерывность соблюдения определенных микроклиматических параметров круглосуточно;
- формирование необходимого резерва для холодопроизводительности;
- точный контроль контроля и блокировки в случае пожара.

Наиболее распространенные системы кондиционирования воздуха для офисного помещения являются сплит-системы для подвесных стен и

потолков. Каждый из них имеет свои преимущества, недостатки и особенности.

Сплит-системы являются недорогими, эффективными и требуют мало места. Недостаток этих моделей заключается в том, что они имеют низкую охлаждающую способность и ограниченную длину полос фреона. Самая мощная модель имеет мощность 10 кВт, что недостаточно для качественного кондиционирования воздуха в крупных помещениях.

Создание проектов систем вентиляции и кондиционирования в помещениях с вычислительными машинами основано на нормативных документах СанПиН 2.2.4.548-96.

Для создания комфортных условий труда в помещениях произведем анализ микроклимата и определим необходимое количество кондиционеров.

5.2 Расчет микроклимата

В таблице 5.1 приведены оптимальные нормы параметров микроклимата с учетом периода года, согласно ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ для легкой физической работы[8].

Таблица 5.1 – Оптимальные нормы микроклимата для помещений с ПК [7]

Период года	Категория работ	Температура воздуха °С не более	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха м/с
Холодный	Легкая 1б	21-23	40-60	0,1
Теплый	Легкая 1б	22-24	40-60	0,2

Определим необходимое количество кондиционеров для создания комфортных условий труда в помещении. Для этого определим избыточное тепло.

Баланс тепловыделений в помещении [7]

$$Q_{изб} = Q_{об} + Q_{осв} + Q_{л} + Q_{р} + Q_{огр} + Q_{орг} \text{ (Вт)}, \qquad (5.1)$$

где $Q_{об}$- тепло, выделяемое производственным оборудованием;

$Q_{осв}$ - тепловыделение от осветительных приборов, оргтехники и оборудования;

$Q_{л}$ – тепловыделения от людей;

$Q_{р}$ – тепловыделение от солнечного излучения через остекление;

$Q_{огр}$– тепловыделение и теплопотери в итоге разности температур;

$Q_{орг}$ - тепловыделение от оргтехники;

Тепло поступление в результате разности температур рассчитывается по формуле [7]

$$Q_{о\ гр}=V_{по\ м} \cdot X_о \cdot (t_{Врасч}-t_{Нрасч}), \quad (5.2)$$

где $V_{по\ м}$ – объем помещения, $V_{по\ м}$ = 5*4*3,4 = 68 м3;

$X_о$ – удельная тепловая характеристика, $X_о$ =0,433 Вт/(м3 * °С);

$t_{нрасч}$ – расчетная наружная температура, равная средней температуре июня в 13 часов, для Алматинской области примем $t_{нрасч}$ = 35 °С;

$t_{врасч}$ = 24 °С – расчетная внутренняя (оптимальная) температура.

Следовательно

$$Q_{о\ грЛето\ м} = 68 \cdot 0,433 \cdot (35 - 24) = 323,88 \text{ (Вт)}. \quad (5.3)$$

В декабре, для Алматинской области примем:

- $t_{нрасч}$ = 7 ° С;
- $t_{врасч}$ = 24 °С –внутренняя температура при отоплении.

Следовательно

$$Q_{о\ грЗимо\ й} = 68 \cdot 0,433 \cdot (-7-24) = - 500,54 \text{ (Вт)}. \quad (5.4)$$

Тепло, выделяемое производственным оборудованием [7]

$$Q_{о\ б} = K \cdot N_{уст} \cdot \eta, \quad (5.5)$$

$$Q_{о\ б} = 0,6 \cdot 3 \cdot 0,95 = 1,71 \text{ (кВт)}.$$

Значение $\eta = 0,95$ – норма потерь потребляемой мощности на тепловыделения компьютерного оборудования.

Тепло, возникающие за счет находящейся оргтехники, - это 30% мощности оборудования [7]

$$Q_{о\ рг} = 0,6 \cdot 3 \cdot 0,3 = 540 \text{ (Вт)}. \quad (5.6)$$

Тепло, выделяемое осветительными установками [9]

$$Q_{о\ св} = F_{по\ л} \cdot \eta \cdot N, \quad (5.7)$$

где $F_{по\ л}$ – площадь пола, $F_{по\ л} = 20$ м^2;

$\eta = 0,4$ – норма потерь потребляемой мощности на тепловыделения светодиодных ламп;

N – расходуемая мощность светильников, 36 Вт/м^2.

Подставив значения в формулу (5.7) получим

$$Q_{о\,св} = 20 \cdot 0{,}4 \cdot 36 = 288 \text{ (Вт)}.$$

Тепло, выделяемое людьми летом:

- летом при 26°С один мужчина выделяет явного тепла 61 Вт, а общего 102 Вт;
- женщина выделяет 85% от нормы тепловыделений взрослого мужчины.

Тогда выделение явного тепла в помещении составит

$$Q_{л}^{я} = 61 \cdot 3 = 183 \text{ (Вт)},$$

А выделений общего тепла составит

$$Q_{л}^{о} = 102 \cdot 3 = 306 \text{ (Вт)}.$$

Тепло, выделяемое людьми зимой:

-Зимой при -5 °С один мужчина выделяет явного тепла 82 Вт, а общего – 103 Вт.

-Женщина выделяет 85% от нормы тепловыделений взрослого мужчины.

Тогда выделение явного тепла в помещении составит

$$Q_{л}^{я} = 82 \cdot 3 = 246 \text{ (Вт)},$$

А выделение общего тепла составит

$$Q_{л}^{о} = 103 \cdot 3 = 309 \text{ (Вт)}.$$

Окна в офисе располагаются с южной стороны, в связи с этим на окна в течение суток не будут падать прямые солнечные лучи. Поэтому тепло поступление от солнечного излучения через остекление рассчитывается по формуле [7]

$$Q_р = q^{II} \cdot F_0 \cdot \beta_{сз} \cdot К_1^т \cdot К_2, \qquad (5.8)$$

где q^{II}– тепловой поток от рассеянной солнечной радиации q^{II} = 168 Вт/м^2;

$\beta_{сз}$ = 0.15 – коэффициент тепропускания [7]

$F_0 = nS_0 = 2{,}4 \cdot 1{,}5 = 3{,}6$ м^2 – площадь светового проема

$К_1$ = 0,72 – коэффициент затемнения остекления переплетами

$К_2$ = 0,9 – коэффициент загрязнения остекления

Подставив значение в формулу (5.8) получим

$$Q_р = 168 \cdot 3{,}6 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}72\ м0{,}9 = 58{,}78(Вт).$$

После того как получили все необходимые данные для расчета общего тепло поступления для помещения вернемся к формуле 5.1

$$Q_{изб} = Q_{о\,б} + Q_{о\,св} + Q_л + Q_р + Q_{о\,гр} + Q_{о\,рг},$$

Летом

$$Q_{изб} = 1710 + 288 + 306 + 58{,}78 + 540 + 323{,}88 = 3226{,}66\ (Дж).$$

Зимой

$$Q_{изб} = 1710 + 288 + 309 + 58{,}78 + 540 - 500{,}54 = 2402{,}24\ (Дж).$$

В связи с тем что тепловой баланс летом больше зимнего, расчитывается по формуле

$$Q_н = Q_{изблетом} \cdot \frac{860}{V_{пом}} = 3{,}26 \cdot \frac{860}{68} = 41{,}2\ (ккал/м^3). \qquad (5.9)$$

Если тепленапряжённость воздуха $Q_н < 20$ ккал/м^3, то принимают Δt=6 ^{0}С, а при $Q_н > 20$ ккал/м^3, принимают Δt=8 ^{0}С.

Определение количества воздуха, необходимое для поступления в помещение

$$L = \frac{Qизбл \cdot 860}{C \cdot \Delta t \cdot y} = \frac{3{,}26 \cdot 860}{0{,}24 \cdot 8 \cdot 1{,}206} = 1210{,}8\ (м^3/час), \qquad (5.10)$$

где С=0,24 ккал/(кг^{0}С) – теплоемкость воздуха;

у =1,206 кг/м^3 – удельная масса приточного воздуха.

Определение кратности воздухообмена[8]

$$n = L/V_{пом} = 1210{,}8/68 = 17{,}8(час^{-1}). \qquad (5.11)$$

5.3 Выбор сплит-системы

Таким образом для кондиционирования воздуха в помещении следует выбирать кондиционер с холодопроизводительностью не менее 3 кВт и циркуляцией воздуха не менее 1200 м3/ч.

Для обеспечения необходимого кондиционирования воздуха в помещении установим кондиционер Daikin ATXN25M6 с холодопроизводительностью 3,8 кВт, 1 штук показанного на рисунке 5.2.

Схема расположения внутреннего блока показана на рисунке 5.3. Данная сплит система способна обеспечить подходящий воздухообмен, для установления нормы микроклимата комнаты службы безопасности. Высокая производительность, низкий уровень шума, малые габариты и приемлемая цена стали важными компонентами для выбора этой модели из общего рынка. Данная система выполняет следующие задачи[8]:

- быстрый и точный контроль микроклимата;
- поддерживание определенного уровня температуры и влажности;
- стабильное и непрерывное соблюдение определенных микроклиматических параметров круглосуточно;
- формирование необходимого резерва для холодопроизводительности;
- точный контроль установки и блокировка в случае пожара.

Паспортные технические характеристики кондиционера сведены в таблицу 5.2.

Рисунок. 5.2 - кондиционер Daikin ATXN25M6

Таблица 5.2 – паспортные технические характеристики кондиционера Daikin ATXN25M6

Технические характеристики	Значение
Уровень охлаждения, кВт	3,8
Уровень обогрева, кВт	4,6
Уровень шума внутреннего блока, дБ	40
Потребляемая мощность охлаждения, кВт	1,07
Потребляемая мощность обогрева, кВт	1,39
Циркуляция воздуха, $м^3$/ч	1400
Электропитание	220 В, 50 Гц
Габариты внутреннего блока, мм (ДхШхВ)	1259x349x25
Габариты внешнего блока, мм (ДхШхВ)	870x800x320

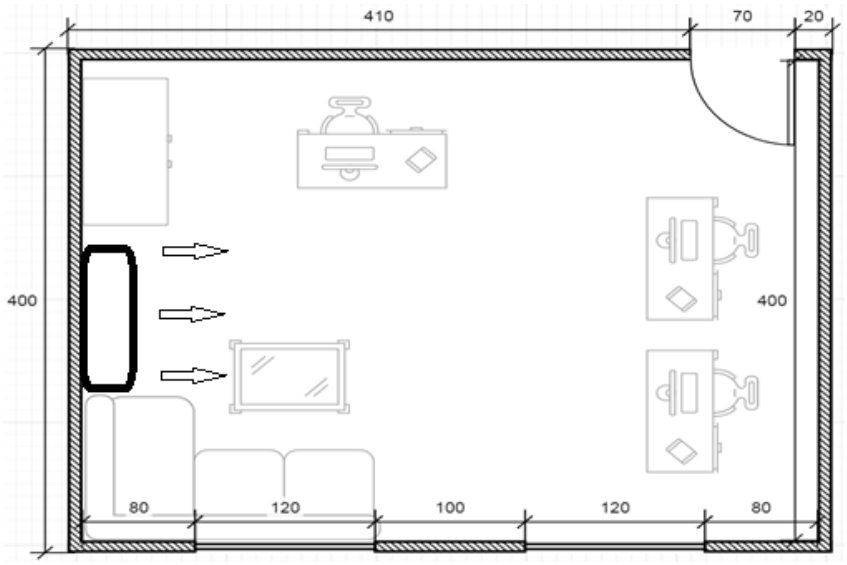


Рисунок 5.3 – схема размещения кондиционера Daikin ATXN25M6

5.4 Заключение части безопасности жизнедеятельности

Задача кондиционирования воздуха состоит в выполнении вентиляции и отопления, а также в поддержании таких параметров воздушной среды, при которых каждый человек благодаря своей индивидуальной системе автоматической терморегуляции организма чувствовал бы себя комфортно, не замечая влияния этой среды. Выполнив раздел безопасности жизнедеятельности и труда, были рассчитаны тепловые нагрузки в помещении, снаружи и внутри. По расчетам был выбран кондиционер с подходящими характеристиками. Расчет показывает, что при достаточном количестве человек и оборудования, количество избыточного тепла очень высоко, вследствие чего была установлена мощная система кондиционирования.

6 Финансовый план

При разработке проекта необходимы экономические данные, которые вместе с техническими показателями будут определять рентабельность системы.

6.1 Капитальные затраты

Рассчитаем объем денежных инвестиций, нужных для построения VLC системы Li-Fi. Вместе с этим учтем не только затраты на покупку оборудования, но и доп. средства, нужные для полной работы системы. Цена оборудования отмечена в таблице 6.1.

Наиемнование	Цена оборудования, доллар США	Цена оборудования, тыс. тенге	Кол-во, шт.	Сумма, тенге

Стационарный приемопередатчик Li-fi X Access Point	890	380,492	6	2,282,952
Мобильный приемопередатчик Li-fi XC station	300	128,256	6	769,536
Светодиодный модуль SinkPAD-II.	18,6	7,952	9	71,568
Итого:			18	3,124,056

Таблица 6.1 – Стоимость основных средств за 01.05.2020

Капитальные вложения можно рассчитать по формуле [11]

$$К_{КАП} = К_0 + К_{МОН} + К_{ТР} + К_{ДОП}. \quad (6.1)$$

Транспортные расходы (3% от общей стоимости оборудования $К_0$) рассчитываются по формуле

$$К_{ТР} = 0{,}03 \cdot К_0 = 0{,}03 \cdot 3\,124\,056 = 93\,722(тг). \quad (6.2)$$

Расходы за монтаж оборудования и налаживание пуска работы, производимые инженерами-монтажниками, так же составляют 5% от общей стоимости оборудования

$$К_{МОН} = 0{,}05 \cdot К_0 = 0{,}05 \cdot 3124056 = 156\,203(тг). \quad (6.3)$$

Стоимость дополнительных средств (5% от стоимости оборудования)

$$К_{ДОП} = 0{,}05 \cdot К_0 = 0{,}05 \cdot 3\,124\,056 = 156\,203(тг). \quad (6.4)$$

Общая сумма капиталовложений для реализации проекта составит

$$К_{КАП} = 3\,124\,056 + 93\,722 + 156\,203 + 156\,203 = 3\,530\,184\ (тг).$$

6.2 Расчет эксплуатационных расходов

К эксплуатационным затратам ($Э_р$) относятся материальные, эксплуатационные на оплату труда и накладные затраты. К материальным затратам относятся: покупка материалов, электроэнергия, амортизационные

отчисления. Эксплуатационные затраты оплаты труда включают в себя социальные налоги и фонд оплаты труда. Накладные расходы – это хозяйственные затраты, которые составят 75% от операционных затрат на оплату работников [11]

$$Э_р = Э_М + Э_{ФОТ} + Э_{НР}, \quad (6.5)$$

где $Э_М$ – материальные затраты

$$Э_М = Э_{МАТ} + Э_{э/э} + А, \quad (6.6)$$

где $Э_{МАТ}$ - расходы на покупку материалов;
$Э_{э/э}$ - расходы электроэнергии, включают: затраты на производственные нужды и доп. затраты; доп. затраты являются равными 5% затрат на производственные нужды;
А – амортизационные отчисления.

$$Э_{ФОТ} = ФОТ + С_Н, \quad (6.7)$$

где $Э_{ФОТ}$ – эксплуатационные затраты на оплату труда работников, которые включают:
ФОТ - фонд оплаты труда;
$С_Н$ – отчисления на соц. налог;
$Э_{НР}$ – накладные расходы, в отрасли связи составляют 70% от эксплуатационных расходов на оплату труда работников, находятся по формуле [11]

$$Э_{НР} = 0{,}7 \cdot Э_{ФОТ}. \quad (6.8)$$

6.3 Расчет материальных затрат

Затраты на доставку материалов будут составлять 5% от всей стоимости системы [11]

$$Э_{МАТ} = 0{,}05 \cdot К_0, \quad (6.9)$$

в данном случае

$$Э_{МАТ} = 0{,}05 \cdot 3\,124\,056 = 156\,202 (\text{тенге}).$$

Расходы электроэнергии для производственной необходимости содержат в себе расходы на электроэнергию производственного оборудования и доп. нужды. Так как время работы

оборудования составляет 40 часовую рабочую неделю, то общая мощность будет калькулироваться по формуле [11]

$$Э_{э/э} = З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР} + З_{ДОП.НУЖ}, \quad (6.10)$$

где $З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР}$ – затраты на производственное оборудование;

$З_{ДОП.НУЖ}$ – расходы на доп. нужды (5% от расходов на производственное оборудование).

Затраты электроэнергии на производственное оборудование рассчитывается по формуле [11]

$$З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР} = W \cdot T \cdot S, \quad (6.11)$$

где W – потребляемая мощность, не более 2,5 кВт;

T – время работы, T= 1968 ч/год;

S – тариф на электроэнергию, S=17,12 тг/кВт

$$З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР} = 2{,}5 \cdot 1968 \cdot 17{,}12 = 84\,230 \text{ (тенге).}$$

Расходы на дополнительные нужды определяются по формуле

$$З_{ДОП.НУЖ} = 0{,}05 \cdot З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР}. \quad (6.12)$$

Находим затраты на доп. нужды

$$З_{ДОП.НУЖ} = 0{,}05 \cdot 84\,230 = 4211 \text{ (тенге).}$$

Расходы на электроэнергию составят

$$Э_{э/э} = 84\,230 + 4211 = 88441 \text{ (тенге).}$$

Амортизационные отчисления начисляются по общим стандартам, которые определяются в процентах от цены основных фондов. Установленная норма амортизации на передающее оборудование составляет 25%. Амортизационные отчисления калькулируется по формуле [10]

$$A = \frac{Н_A \cdot К_{КАП}}{100\%}, \quad (6.13)$$

где $Н_А$ – норма амортизационных отчислений;

$К_{КАП}$– первоначальная цена главных производственных фондов, тенге.

Подставив значения в формулу (6.13) получим

$$А = \frac{25 \cdot 3530184}{100\%} = 882\ 546 (тенге).$$

Итоговые материальные эксплуатационные расходы равны

$$Э_М = 156\ 202 + 88441 + 882\ 546 = 1\ 127\ 189 (тенге).$$

6.4 Расчет фонда оплаты труда

Набор рабочего персонала с окладом согласно штатному расписанию, для обеспечения эффективной реализации данного проекта, предлагается в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Необходимый штат сотрудников с соответствующим окладом по проекту

Должность	Количество, человек	Месячная зарплата (на человека), тенге	Годовая зарплата (общая), тенге
Менеджер	5	110 000	6 600 000
Управляющий	1	180 000	2 160 000
Охранник	1	80 000	960 000
Итого:	7	810 000	9 720 000

ФОТ находится по формуле [11]

$$ФОТ = З_{ОСН} + З_{ДОП}, \quad (3.14)$$

где $З_{ОСН}$ – основная зарплата;

$З_{ДОП}$– дополнительная зарплата.

В соответствии, с зарплатой сотрудников, показанной в таблице 6.2, главная годовая зарплата составит $З_{ОСН}$ = 9 720 000тенге.

Дополнительная зарплата составляет 20% от основной зарплаты

$$З_{ДОП} = 9\ 720\ 000 \cdot 0{,}2 = 1\ 944\ 000\ (тенге). \quad (6.14)$$

Общая сумма расходов на зарплату работников составит

$$ФОТ = 9\,720\,000 + 1\,944\,000 = 11\,664\,000 \text{ (тенге)}.$$

Отчисления по соц. налогу определяются по формуле [11]

$$С_Н = 0{,}13 \cdot (ФОТ - ПФ), \qquad (6.15)$$

где ПФ – отчисления в фонд пенсионеров.

Ставка социального налога – 13%, отчисления в ПФ составляют 10 % от ФОТ и социальным налогом не облагаются [11]

$$ПФ = 0{,}1 \cdot ФОТ = 0{,}1 \cdot 11\,664\,000 = 1\,664\,000 \text{ (тенге)}. \qquad (6.16)$$

Тогда ставки по соц. нуждам составят

$$С_Н = 0{,}13 \cdot (11\,664\,000 - 1\,664\,000) = 1\,300\,000 \text{ (тенге)}. \qquad (6.17)$$

Итоговые отчисления в ФОТ равны

$$Э_{ФОТ} = 11\,664\,000 + 1\,300\,000 = 12\,964\,000 \text{ (тенге)},$$

$$Э_р = 1\,127\,189 + 12\,964\,000 + 9\,074\,800 = 23\,165\,989 \text{ (тенге)}.$$

6.5 Расчет накладных расходов

Накладные расходы составляют 70 % от эксплуатационных расходов на

$$Э_{НР} = 0{,}7 \cdot 12\,964\,000 = 9\,074\,800 \text{ (тенге)}.$$

6.6 Расчет экономического эффекта за один год от выбора оборудования для системы VLC

Экономический эффект - различие между результатами действия хозяйствующей персоны и полученными для его получения расходами. Отличают положительное и отрицательное экономическое влияние. Положительное экономическое влияние происходит в том случае, когда итоги (продукт или услуга в ценовом выражении) перекрывают затраты. Этот экономическое явление называют прибылью. Для того, чтобы получить его нужно расширение хозяйства, или же снижение ресурсов на единицу этого продукта, или же то, и другое. В случае если расходы перекрывают результаты, то выходит отрицательный влияние, т. е. убытки.

Для определения экономического эффекта в нашем случае сравним полученную выручку в прошлом году, до установки системы Li-Fi и после ее установки.

До установки нового передающего Li-Fi оборудования скорость передачи данных составляла 150 Мбит\с (стандарт Wi-fi IEEE 802.11n). После установки Li-Fi X от Purelifi, скорость передачи возросла до 430 Мбит/с, следовательно, более чем в 2,8 раз. Следовательно, с помощью этой технологии можно повысить производительность труда работников. Зная из консолидированной финансовой отчетности “Kaspi Bank” (используем в качестве расчетов) за 2019 год средняя выручка 1 отделения банка составила 87,95 млн. тенге\год, в планируемом году возрастет на 3%. Определим планируемую выручку

$$В_{пл} = 87,95 \cdot 1,03 = 90,588 \text{ (млн. тенге).} \quad (6.18)$$

При внедрении системы “Li-Fi X” будет возможным увеличения производительности труда офисного штата на 3%.

Экономический эффект будет равен

$$ЭЭ = В_{пл} - В_{тек} = 90,588 - 87,95 = 2,638 \text{ (млн. тенге).} \quad (6.19)$$

6.7 Расчет срока окупаемости

Период окупаемости – это объем, который показывает, период времени за который должен совершиться возврат капиталовложений, потраченных на организацию фирмы. В случаях, когда установленная новая техника или технология не дает прибыли, период окупаемости рассчитывается следующим образом [11]

$$Т = \frac{К_{КАП}}{ЭЭ}, \quad (6.20)$$

где $К_{КАП}$ - капитальные вложения по внедрению системы видеонаблюдения, тенге;

$$Т = \frac{3\,530\,184}{2\,638\,400} = 1,33 \text{ (год).}$$

Из этого следует, что капитал, вложенный в организацию системы видеонаблюдения, фирма окупит за 1,33 года (16 месяцев) без учета дисконтирования.

Определим коэффициент экономической эффективности:

$$Е_{ЭК.ЭФ} = \frac{1}{Т}, \quad (6.21)$$

$$E_{ЭК.ЭФ} = \frac{1}{1,33} = 0,75.$$

То есть, каждый вложенный тенге принесет за год 0,75 тенге прибыли, что является хорошим показателем.

6.8 Выводы экономической части

Анализируя проделанные мною расчёты, можно точно сказать, что данный дипломный проект будет экономически целесообразным и действенным.

Необходимо подчеркнуть, что время окупаемости не должно превышать более 5 лет. В этом проекте срок окупаемости составит 16 месяцев.

Капитал вложенный в предприятие составит 3 530 184 тенге, эксплуатационные затраты составят 13 152 597 тенге, чистый доход составит 2 638 400 тенге. Данные расчеты позволяют сделать вывод, что приемо-передача сигнала с помощью Li-fi устройств является экономически рентабельным проектом.

Заключение

В данной дипломной работе были произведены обоснования проектирования высокоскоростного защищенного канала связи используя технологию visible light communication. В работе был сделан анализ сети Li-fi, его преимущества и недостатки. В качестве выбора используемого оборудования было отдано предпочтение компании PureLiFi и ее новой разработке Li-Fi X. Обоснование выбора оборудования производилось с учетом: технических характеристик, возможностей применения, стоимости и так далее. В технической части проекта рассмотрен вариант построения сети беспроводного доступа с установлением шести точек доступа. Выбор обусловлен условиями технических параметров оборудования. В расчетной части дипломного проекта произведены расчеты ширины полосы пропускания и скорости передачи данных.

В разделе безопасности и жизнедеятельности был проведен анализ условий труда, расчет микроклимата и подобран кондиционер.

В экономической части дипломного проекта был представлен бизнес-план проектируемой системы с указанием экономического эффекта и срока окупаемости проекта.

Список литературы

1 Неволин, Д. Г. Помехоустойчивость беспроводных оптических локальных сетей передачи данных на базе светодиодов видимого излучения: монография/Д. Г. Неволин, И. П. Петрусь. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – 144 с.

2 Latif Ullah Khan. Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges. Department of Electrical Engineering. University of Engineering & Technology. Peshawar. Volume 3, Issue 2, May 2017, Pages 78-88.

3 Архипов А. Проектирование и разработка энергосберегающих светодиодных систем освещения / А. Архипов // Полупроводниковая светотехника. – 2009. – № 2. – С. 42–45.

4 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.

5 Виноградов В.В., Котов В.К., Нуприк В.Н. Волоконно-оптические линии связи. - М.: ИПК «Желдориздат», 2002. - 278 с.

6 Андреев В.А., Бурдин А.В., Кочановский Л.Н. и др.; Под ред. Андреева В.А. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В

2-х томах. Том 2 — Проектирование, строительство и техническая эксплуатация / — 7-е изд., перераб. и доп. — М.: Горячая линия—Телеком, 2010. — 424 с.: ил.

7 СанПин2.2.4.548-96 в РК. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

8 Ананьев В.А., Балуева Л.Н., Гальперин А.Д. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика: Учебное пособие. – Москва: Евроклимат Изд-во «Арина», 2000. – 416 с.

9 Хакимжанов Т.Е. Охрана труда: Учебное пособие для ВУЗов. – Алматы: Эверо , 2006. – 264 с.

10 Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич А.А. Экономика предприятия. Методические указания по выполнению семестровых работ для студентов специальности 5В071900- Радиотехника, электроника и телекоммуникации. Алматы. АУЭС, 2013. -31с.

11 Гальчина Н. А. Мощные белые светодиоды и модули на их основе для целей освещения / Н. А. Гальчина [и др.] // Светотехника. – 2007. – № 2. – С. 26–28.

12 Дмитриев А. Л. Оптические системы передачи информации: учеб пособие / А.Л, Дмитриев. – СПб. : СПбГУИТМО , 2007. – 65 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Код программы «Расчёт полосы пропускания светодиодов»

```
unit Unit1;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, XPMan;
type
TForm1 = class(TForm)
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Button1: TButton;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
Edit4: TEdit;
Button2: TButton;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
XPManifest1: TXPManifest;
Image1: TImage;
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
var
Form1: TForm1;
```

Про до лжение прило жения А

```
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
Edit4.Text:=FloatToStr(StrToFloat(trim(Edit1.Text)+
StrToFloat(trim(Edit2.Text)) + StrToFloat(trim(Edit3.Text))) + 'Гц';
end;end.
```