**ОТЧЁТ ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Магистрант:** Карманов Артём Александрович |  |
| **Код и наименование образовательной программы:** 7М07110 «Робототехнические, интеллектуальные системы и приборостроение» | Подпись, дата |
| **Направление подготовки:** профильное |  |
| **Научный руководитель от кафедры:** кандидат технических наук, ассоциированный профессор  Савостин Алексей Александрович |  |
| **Руководитель от базы прохождения практики:**  директор технического департамента АО «Завод им. С.М. Кирова» Левченко Сергей Николаевич | Подпись, дата |
| **Год поступления:** 2023 г. | Подпись, дата |
| **Год окончания:** 2024 г. |  |

**СОДЕРЖАНИЕ**

[О ПРЕДПРИЯТИИ 3](#_Toc153264798)

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc153264799)

[1 Обзор современных беспроводных технологий 5](#_Toc153264800)

[1.1 Типы беспроводных сетей 5](#_Toc153264801)

[1.2 LPWAN технологии беспроводной связи 7](#_Toc153264802)

[1.2.1 Общие сведения о LPWAN сетях 7](#_Toc153264803)

[1.2.2 SIGFOX технология 9](#_Toc153264804)

[1.2.3 LoRa технология 11](#_Toc153264805)

[1.2.4 Сравнительный анализ SIGFOX и LoRa 13](#_Toc153264806)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 14](#_Toc153264807)

**О ПРЕДПРИЯТИИ**

Производственная практика проходила на базе предприятия АО «Завод им. С. М. Кирова».

Во время Великой Отечественной Войны, в ноябре 1941 года, из г. Александрова Ивановской области завод вместе с людьми и оборудованием перебазируется в г. Петропавловск.

В тяжелых условиях, в феврале 1942 года завод дал первую продукцию фронту. В годы войны коллектив завода обеспечивал фронт радиоприемниками, радиопеленгаторами, пользующимся большим спросом и популярностью в наших войсках.

После войны завод перешел на выпуск радиоприемных устройств для нужд народного хозяйства и населения, освоив выпуск изделий второго, третьего и четвертого поколений.

Сегодня АО «Завод им. С.М. Кирова» – государственное предприятие. Спектр выпускаемой продукции завода различен. От КЛУБ и радиостанции РВС до блока управления штанговой нефтекачалкой БУШК-2М.

В результате реконструкции, внедрения комплексной механизации и автоматизации, реализации комплексного и социально-экономических планов развития, завод за годы своей истории из полукустарной мастерской вырос в крупное предприятие, оснащенное современной техникой, с высококвалифицированными кадрами рабочих, ИТР и служащих.

**ВВЕДЕНИЕ**

В ходе прохождения производственной практики выполнен обзор и сравнительный анализ современных беспроводных технологий, применяемых в качестве средств радиотелеметрии для IoT устройств в целом и на технологическом оборудовании АО «Завод им. С. М. Кирова» в частности.

Термин IoT (Интернет вещей), подразумевает коллективную сеть, которая обеспечивает связь устройств с Интернетом, а также устройств друг с другом [1]. Благодаря разнообразию современных цифровых микросхем, датчиков и исполнительных устройств, существуют миллиарды IoT устройств, подключенных к сети Интернет.

Количество таких устройств и требования к их качественным показателям продолжают расти по мере цифровизации и развития технологий. Взаимодействие этих устройств друг с другом и с сетью Интернет было бы невозможным без современных беспроводных технологий, анализу которых была посвящена производственная практика.

1. Обзор современных беспроводных технологий
   1. Типы беспроводных сетей

Современные беспроводные сети можно условно разделить перечисленные ниже типы:

1. WPAN (Wireless Personal Area Network) беспроводные персональные сети:

WPAN представляет собой сеть, охватывающую небольшие личные области, обычно в пределах нескольких метров.

Основные технологии WPAN включают Bluetooth и Zigbee.

Bluetooth обеспечивает краткодистанционную передачу данных между устройствами, такими как смартфоны, наушники и клавиатуры.

Zigbee широко применяется в системах умного дома и умных городов, обеспечивая связь для устройств IoT;

1. *WLAN (Wireless Local Area Network) беспроводные локальные сети*:

WLAN предоставляет беспроводной доступ в локальных сетях с более широким охватом, часто до нескольких сотен метров.

Стандарт Wi-Fi (802.11) является ключевой технологией WLAN. Сети Wi-Fi широко распространены в домах, офисах, общественных местах и предоставляют высокоскоростной доступ в интернет.

Стандарт Wi-Fi 6 (802.11ax) предоставляет улучшенную производительность в условиях высокой загруженности сети.;

1. *WNAN (Wireless Neighborhood Area Network*) беспроводные сети районов:

WNAN представляет собой беспроводные сети, ориентированные на определенные жилые районы или районы города.

В качестве примеров WNAN сетей можно привести Wi-SUN и ZigBee-NAN, которые обеспечивают долгосрочную связь на значительные расстояния с умеренным энергопотреблением. Применяется в системах умных городов, сельском хозяйстве и других областях, где требуется связь с большим охватом;

1. *WWAN (Wireless Wide Area Network*) беспроводные глобальные сети:

WWAN предоставляет беспроводной доступ в широких географических областях, охватывая национальные и мировые масштабы.

Мобильные сети, такие как 4G LTE и 5G, являются ключевыми технологиями WWAN, предоставляя мобильную связь и интернет в движении. 5G внедряет более высокие скорости передачи данных, низкую задержку и увеличенную емкость сети.

В рамках WWAN выделяется подкатегория LPWAN (Low Power Wide Area Network). Эти технологии обеспечивают долгосрочную связь для интернета вещей (IoT) с минимальным энергопотреблением. Применение LPWAN распространено в системах мониторинга и управления, где требуется связь на больших расстояниях с длительным сроком службы батарей.

К наиболее распространённым представителям LPWAN сетей можно отнести LoRa и SIGFOX, сравнительному анализу которых посвящены следующие подразделы проекта.

Ниже показаны распространённые технологии, реализующие стандарты перечисленных выше беспроводных сетей, а также достижимые ими дальности связи (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Технологии беспроводных сетей

* 1. LPWAN технологии беспроводной связи
     1. Общие сведения о LPWAN сетях

LPWAN (*Low-power Wide-area Network* – энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия) – представляет собой эволюцию беспроводных технологий, ориентированных на обеспечение связности для интернета вещей (IoT) в условиях, требующих дальней передачи данных при минимальном энергопотреблении устройств. Данный доклад рассмотрит ключевые аспекты LPWAN, его технологии, применение и влияние на различные отрасли.

Основной принцип передачи данных в технологии LPWAN на физическом уровне опирается на характеристику радиосистем, а именно возрастание энергетических показателей, что приводит к увеличению дальности связи при снижении скорости передачи данных. Чем менее высока битовая скорость, тем более энергоэффективна каждая передаваемая единица информации, что обеспечивает более легкое выделение её на фоне шумов в приемной части системы. Таким образом, низкая скорость передачи данных способствует расширению дальности их приема.

LPWAN сегодня привлекает внимание различных отраслей благодаря своей способности обеспечивать эффективную связь для интернета вещей (IoT) с низким энергопотреблением и дальним охватом.

Cферы применения LPWAN охватывают широкий спектр отраслей, привнося инновации в мир технологий и бизнеса. Эффективное использование низкоэнергетичных сетей LPWAN в этих областях открывает новые перспективы для умных решений, оптимизации процессов и повышения общей эффективности.

Перечисленные ниже ключевые особенности технологий LPWAN делают их привлекательными для различных сценариев использования, таких как сельское хозяйство, умные города, промышленность и здравоохранение:

* LPWAN оптимизирована для минимального расхода энергии на передачу и прием данных, что позволяет устройствам работать на батарейках или других источниках питания в течение длительного времени;
* технология LPWAN обеспечивает значительный радиус действия, даже в условиях, где сигнал должен преодолевать преграды или проникать в глубокие внутренние помещения;
* развитие стандартов с открытыми лицензиями (например, LoRaWAN) и использование недорогих компонентов делают LPWAN более доступной с точки зрения затрат;
* технология LPWAN идеально подходит для связи устройств Интернета Вещей, где необходима надежная и долгосрочная связь для сенсоров, устройств мониторинга и других IoT-устройств;
* некоторые варианты LPWAN, такие как LoRaWAN, основаны на открытых стандартах, что способствует их распространению и совместимости между различными поставщиками оборудования;
* LPWAN использует эффективные методы доступа к радиоканалу, что позволяет обеспечивать связь для большого числа устройств с минимальными помехами и коллизиями.

Ниже продемонстрировано сравнение LPWAN с другими беспроводными технологиями (Рисунок 2).

|  |  |
| --- | --- |
| Скорость обмена данными |  |
|  | Дальность связи |

Рисунок 2 – Сравнение LPWAN с другими беспроводными технологиями

* + 1. SIGFOX технология

SIGFOX представляет собой беспроводную технологию передачи данных, специально разработанную для интернета вещей (IoT). Эта технология обеспечивает низкоскоростную, но эффективную передачу данных на большие расстояния, при этом потребляя минимальное количество энергии.

Архитектура SIGFOX включает узлы, называемые базовыми станциями, которые принимают данные от устройств и передают их в облако SIGFOX. Облако SIGFOX затем обрабатывает и направляет данные в конечное пункты назначения.

SIGFOX работает в рамках своего собственного стандарта, который определяет протокол передачи данных и обеспечивает совместимость между устройствами и сетью.

SIGFOX использует уникальный метод модуляции, известный как "UNB" (Ultra Narrow Band), который позволяет использовать очень узкие полосы частот для передачи данных. Это обеспечивает низкое энергопотребление и дальность передачи.

Радиус действия SIGFOX может достигать нескольких десятков километров, что делает эту технологию идеальной для создания обширных сетей IoT.

Благодаря низкому энергопотреблению и эффективной передаче данных, устройства, использующие SIGFOX, могут работать на одной батарее в течение нескольких лет.

SIGFOX использует лицензированные частоты в диапазоне 868 МГц в Европе и 902 МГц в Северной Америке.

Сеть SIGFOX имеет звездообразную топологию, где базовые станции соединены с облаком SIGFOX.

Ограничение на количество сообщений от конечного устройства в день в сети SIGFOX составляет 140 сообщений.

SIGFOX находит применение в различных отраслях, таких как мониторинг окружающей среды, умные города, умные сельские поселения, медицинская техника, логистика и многое другое.

Преимущества SIGFOX:

* экономия энергии и долгий срок службы устройств;
* широкий радиус действия и возможность создания обширных сетей;
* низкая стоимость реализации и обслуживания.

Недостатки SIGFOX:

* низкая скорость передачи данных, что делает ее неудовлетворительной для определенных приложений;
* ограниченные по количеству сообщений возможности передачи данных.

Более подробные характеристики SIGFOX в табличной форме изложены ниже (Таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики технологии SIGFOX

| **Характеристика** | **Описание** |
| --- | --- |
| Частотный диапазон | 868 МГц в Европе, 902 МГц в США |
| Ширина полосы | 100 Гц |
| Тип модуляции | UNB (Ultra Narrow Band) |
| Максимальная скорость передачи | 100 бит/сек |
| Разрешение в передаче данных | 12 битов (может варьироваться в зависимости от сообщения) |
| Дальность связи | В зависимости от условий окружающей среды:  от 10 до 50 км |
| Энергопотребление | Низкое (благодаря ограниченной скорости передачи данных) |
| Спектральная эффективность | Высокая |
| Тип сети | Сеть с низкой пропускной способностью, предназначенная для долгоживущих устройств с низким энергопотреблением |
| Архитектура | Звездообразная |
| Стандарт | Собственный SIGFOX |
| Срок службы устройств без замены батареи | Несколько лет |
| Максимальное количество сообщений от устройства в день | 140 сообщений |
| Топология сети | Звездообразная |
| Сфера применения | IoT: мониторинг окружающей среды, умные города, медицинская техника, логистика и другие |
| Преимущества | Низкое энергопотребление, долгий срок службы, широкий радиус действия, низкая стоимость |
| Недостатки | Низкая скорость передачи данных, ограниченные возможности передачи данных |

SIGFOX, несмотря на свои ограничения, представляет собой мощный инструмент для конкретных сценариев использования в области интернета вещей, обеспечивая эффективную и энергоэффективную связь на большие расстояния.

* + 1. LoRa технология

LoRa (Long Range) представляет собой беспроводную технологию связи, разработанную для передачи данных на длинные расстояния с низким энергопотреблением. Эта технология предназначена для интернета вещей (IoT) и обеспечивает эффективное соединение для устройств, работающих в удаленных или труднодоступных местах [2].

Архитектура LoRa включает в себя узлы, базовые станции и сетевой сервер. Узлы – это конечные устройства, которые передают данные, базовые станции – устройства, ответственные за прием и передачу данных, а сетевой сервер управляет сетью и обеспечивает связь с облачными службами.

LoRa работает в рамках стандарта LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), который устанавливает протоколы и интерфейсы для беспроводной коммуникации.

LoRa использует спектральное расширение для модуляции сигнала. Технология основана на Хиршмановском расширении частоты (CSS) и позволяет обеспечивать высокую проникающую способность сигнала и долгий радиус действия [3].

Радиус действия LoRa может достигать нескольких километров в городских условиях и до нескольких десятков километров в сельской местности.

Благодаря низкому энергопотреблению LoRa устройства могут работать на одной батарее в течение нескольких лет, обеспечивая стабильную передачу данных.

LoRa использует лицензируемые и нелицензируемые частотные диапазоны в разных странах. Диапазон частот варьируется от 863 МГц до 915 МГц [4].

LoRaWAN поддерживает звездообразную, деревянную и ячеистую топологии сети, что обеспечивает гибкость в развертывании.

Стандарт LoRaWAN не ограничивает количество сообщений, которые конечное устройство может передавать в сеть в течение определенного периода времени.

LoRa применяется в различных областях, таких как умный город, сельское хозяйство, медицина, промышленность и др.

Преимущества LoRa технологии;

* большой радиус действия;
* низкое энергопотребление;
* гибкость в развертывании сети;
* поддержка различных топологий.

Недостатки LoRa технологии:

* ограниченная пропускная способность;
* задержки в передаче данных;
* ограниченная поддержка высокоскоростных приложений.

Alliance LoRa заключил соглашения с представителями радиочастотных регуляторов в разных странах об использовании частотного диапазона. Разрешённые параметры LoRa устройств в зависимости от региона использования изложены ниже (Таблица 2).

Таблица 2 – Частотные диапазоны LoRa

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Регион** | | |
| **Европа** | **Северная Америка** | **Россия** |
| Частотный диапазон, МГц | 863 – 870 | 902 – 928 | 864 – 865,5; 868,7 – 869,2 |
| Максимальное количество каналов | 35 | 80 | 8 |
| Ширина спектра радиосигнала, кГц | 125/250 | 125/500 | 125 |
| Мощность передачи, дБм | 14 | 27 | 14 |
| Фактор расширения спектра SF (Spreading Factor) | 7-12 | 7-10 | 7-12 |

Более подробные характеристики LoRa в табличной форме изложены ниже (Таблица 3).

Таблица 3 – Характеристики технологии LoRa

| **Характеристика** | **Описание** |
| --- | --- |
| Диапазон частот | 868 МГц (в Европе), 915 МГц (в Северной Америке), 433 МГц (в некоторых странах) |
| Ширина полосы | 125 кГц, 250 кГц или 500 кГц |
| Режим модуляции | LoRa |
| Дальность связи | До 15 км в открытом пространстве, в зависимости от условий и используемой конфигурации |
| Скорость передачи данных | От нескольких бит в секунду до нескольких килобит в секунду |
| Энергопотребление | Очень низкое, что делает LoRa подходящей для устройств с ограниченным источником питания |
| Режимы работы | Передача данных, прием данных, ожидание |
| Тип сети | Структура сети с узлами, в которой узлы могут отправлять данные друг другу или через шлюз |
| Стек протоколов | Обычно используется в сочетании с протоколами верхнего уровня, такими как MQTT или CoAP |

LoRa технология представляет собой мощный инструмент для построения эффективных и долгосрочных беспроводных сетей в Интернете вещей. Ее уникальные характеристики делают ее привлекательным решением для различных приложений, несмотря на некоторые ограничения.

* + 1. Сравнительный анализ SIGFOX и LoRa

SIGFOX и LoRa (Long Range) представляют собой два похожих по назначению протокола передачи данных, разработанных для интернета вещей. Оба они предоставляют возможность долгосрочной беспроводной связи, но существуют заметные различия между ними.

Сравнительная характеристика между протоколами SIGFOX и LoRa, представлена ниже (Таблица 4).

Таблица 4 – Сравнение SIGFOX с LoRa

| **Характеристика** | **SIGFOX** | **LoRa** |
| --- | --- | --- |
| Диапазон частот | 868 МГц в Европе,  902 МГц в США | Нелицензионные частоты  (433 МГц, 868 МГц, 915 МГц) |
| Технология модуляции | Узкополосная модуляция (UNB) | Широкополосная частотная модуляция LoRa |
| Пропускная способность | Ограничена до 100 бит/с | До 38 кбит/с |
| Чувствительность | -142 дБм | -148 дБм (при 125 кГц)  -137 дБм (при 250 кГц) |
| Потребление энергии | Низкое | Низкое |
| Размер сообщений | Ограничен до 12 байт | До 512 кбайт |
| Максимальное количество сообщений в день | 140 | Не ограничено |
| Сложность сетевой архитектуры | Централизованная | Децентрализованная  (сеть LoRaWAN) |
| Способность к маршрутизации | Отсутствует | Поддерживается (в сети LoRaWAN) |
| Гибкость в настройке | Ограниченная | Высокая |
| Дальность связи | До нескольких десятков километров | |

Оба протокола имеют свои преимущества и ограничения, и выбор между ними зависит от конкретных требований проекта IoT. SIGFOX подходит для простых сценариев с низкой пропускной способностью, в то время как LoRa может быть более гибким для более сложных приложений, требующих высокой пропускной способности и гибкости в выборе частоты.

Учитывая наличие преимуществ LoRa по показателям чувствительности, размеру и количеству сообщений, а также её большую, в сравнении с SIGFOX, распространённость в странах СНГ, именно LoRа выбрана в качестве технологии беспроводной связи, на базе которой в следующих разделах настоящего проекта разработан радиомодем.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Выполненный в ходе производственной практики анализ технических возможностей современных технологий беспроводной связи позволяет сделать вывод о том, что с точки зрения оптимального баланса между энергопотреблением, скоростью обмена, используемым спектром частот, бюджетом канала связи и доступностью аппаратных решений, наиболее предпочтительным средством радиотелеметрии для IoT устройств является технология LoRa.

Технология и способ модуляции LoRa характеризуется рядом преимуществ: высокой чувствительностью приёмного устройства, низкой восприимчивостью к эфирному шуму и толерантностью к дрейфу опорных частот, формируемых кварцем или осциллятором. Последнее преимущество позволяет применять бюджетные формирователи опорной частоты.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Литвинов, А. В. (2018). Интернет вещей. Новосибирск: Новосибирский государственный университет.
2. Марков, А. А. (2020). Применение LoRaWAN технологии в Интернете вещей. Красноярск: Сибирский федеральный университет.
3. Карташов, С. В., Гуржий, А. С., & Смирнов, М. В. (2017). Исследование технологий беспроводной связи в системах Интернета вещей. Сборник трудов Международной конференции "Управление развитием сложных систем", 168-173.
4. Литвинов, А. В. (2019). Моделирование и анализ алгоритмов модуляции и коррекции ошибок в системах радиотелеметрии Интернета вещей. Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, 17(2), 89-95.