



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«МИРЭА – Российский технологический университет»

РТУ МИРЭА

---

Институт искусственного интеллекта

---

Кафедра компьютерной и информационной безопасности

---

### Курсовая работа

по дисциплине «Аппаратные средства телекоммуникационных систем»  
(6 семестр)

**Тема:** Анализ отказоустойчивой децентрализованной сети Mashtastic

Отчет представлен к  
рассмотрению:

Студент группы КТСО-03-22

30.08.2025

С.Р. Ягодарова

(подпись и расшифровка подписи)

Отчет утвержден.

Допущен к защите:

Руководитель курсовой  
работы

30.08.2025

А.Ю. Машинин

(подпись и расшифровка подписи)

оценка: отлично

30.08.2025

Москва 2025

**Цель:** исследование работы сети Meshtastic

### **Задачи**

1. Провести обзор характеристик и принципа работы mesh-сети
2. Провести сравнительный анализ вариантов реализации автономного ретранслятора
3. Аналитически оценить приблизительное время работы автономного ретранслятора при различных условиях.

## **1. Введение**

### **1.1. Актуальность**

Современные системы коммуникации в значительной степени опираются на централизованную инфраструктуру — сотовые вышки, провайдерские узлы доступа, интернет-шлюзы. Нарушение работы этих компонентов, вызванное стихийными бедствиями, авариями, кибератаками или военными действиями, приводит к полной или частичной утрате связи, что существенно снижает эффективность координации действий и передачи критически важной информации. Особенно остро эта проблема проявляется в условиях чрезвычайных ситуаций, когда требуется быстрая и надёжная передача данных между людьми.

Децентрализованные сети, такие как Meshtastic, представляют собой альтернативный подход к организации связи. Они не зависят от операторов связи и интернета, обеспечивая передачу сообщений между устройствами напрямую с помощью радиоканала, образуя сетевую топологию mesh (ячеистую сеть). Такая структура повышает отказоустойчивость системы и позволяет сохранять связь в условиях разрушенной инфраструктуры.

Кроме применения в чрезвычайных ситуациях, сети типа Meshtastic могут быть востребованы:

- в удалённых или труднодоступных районах, не охваченных мобильной связью;

- при проведении туристических, исследовательских или экспедиционных мероприятий вне зоны покрытия сети;
- для организации временных локальных сетей на массовых мероприятиях;
- в условиях ограниченного или контролируемого доступа к интернету, в том числе при репрессивных режимах или в военной обстановке;
- в проектах автономной автоматизации (например, агромониторинг, датчики окружающей среды), где требуется обмен данными между узлами без централизованного сервера.

Учитывая усиливающееся внимание к вопросам цифровой независимости, кибербезопасности и устойчивости критической инфраструктуры, исследование возможностей и характеристик децентрализованных сетей связи, таких как Meshtastic, представляется актуальным и перспективным направлением.

## **1.2. Аппаратное обеспечение и принцип работы**

Аппаратное обеспечение:

- Android смартфон
- Meshtastic - радиомодем на основе LoRa-модулей связи
- Антенна
- PowerBank

Meshtastic — это проект с открытым исходным кодом, который позволяет использовать недорогие радиомодули LoRa в качестве платформы для удалённой связи на больших расстояниях в районах без существующей или надёжной инфраструктуры связи.

Meshtastic использует LoRa — протокол радиосвязи дальнего действия, который широко доступен в большинстве регионов без необходимости получения дополнительных лицензий или сертификатов, в отличие от любительской радиосвязи.

Ключевые особенности LoRa:

- **Модуляция Chirp Spread Spectrum (CSS):** использует «чирп-сигналы» (линейно меняющаяся частота), которые устойчивы к помехам и эффективны в условиях слабого сигнала.
- **Низкое энергопотребление:** устройства могут работать годами от батареи.
- **Дальность связи:** до 10–15 км в открытой местности и 2–5 км в городских условиях.
- **Невысокая скорость передачи:** до 50 кбит/с, что достаточно для текстовых сообщений.
- **Нелицензионные частоты:** работает в диапазонах 868 МГц (Европа), 915 МГц (США), 433 МГц (Азия).

Радиостанции предназначены для повторной передачи сообщений, которые они получают, формируя mesh-сеть (ячеистую сеть). Такая настройка гарантирует, что каждый участник группы, в том числе находящийся на наибольшем расстоянии, сможет получать сообщения.

При отправке сообщения в приложении Meshtastic оно передаётся на радиостанцию по Bluetooth, Wi-Fi/Ethernet или последовательному соединению. Затем это сообщение транслируется радиостанцией. Если по истечении определённого времени ожидания оно не получает подтверждения от какого-либо другого устройства, оно передаётся повторно до трёх раз.

Для каждого сообщения, которое радиостанция ретранслирует, она уменьшает “hop limit” («ограничение на количество переходов») на единицу. Когда радиостанция получает пакет с нулевым ограничением на количество переходов, она не будет ретранслировать сообщение.

На уровне радиосвязи Mesh-сеть — это набор узлов, которые используют один и тот же коэффициент распространения LoRa, центральную частоту и полосу пропускания. Узел не будет видеть сообщения от узлов, использующих

другие значения для этих параметров, и не будет отвечать на них. Для формирования сети узлы должны использовать одинаковые значения.

Поверх этой радиосети расположены каналы. Логическая сеть формируется каналом с определённым именем и ключом шифрования. Канал по умолчанию в радиосети — это канал 0 с пустым «именем» и ключом шифрования  $AQ==$ .

Узлы могут принадлежать максимум к 8 каналам в радиосети. Пользовательский канал может быть создан для использования определённой группой. Только узлы, настроенные с одним и тем же названием канала и ключом шифрования, смогут читать и отображать сообщения на этом канале. Однако все узлы в радиосети будут получать и могут повторно отправлять сообщения (в зависимости от их роли) независимо от настроек канала для сообщения.

**Meshtastic** использует **гибридное шифрование**, как и большинство современных систем защищённой передачи данных (вроде Signal, WhatsApp, TLS и др.). Это значит, что:

- **AES-256** применяется как **основной алгоритм симметричного шифрования** для самого содержимого сообщений — это быстро и надёжно.
- Но для того, чтобы передать **сеансовый AES-ключ**, необходим **безопасный канал**, для этого используется **асимметричное шифрование** (с использованием публичного ключа получателя).

**Как это работает:**

1. Отправитель **генерирует случайный сеансовый ключ AES-256**.
2. Этот сеансовый ключ **зашифровывается с помощью публичного ключа получателя**.
3. Зашифрованный ключ отправляется вместе с сообщением.
4. Получатель **расшифровывает сеансовый ключ с помощью своего приватного ключа**, а затем — и всё сообщение с помощью полученного AES-ключа.

### 1.3. Передача сообщения

Для проверки работоспособности радиомодуля была проведена тестовая передача данных. В эксперименте использовались два устройства Meshtastic: одно автономное, другое — подключённое к ноутбуку, на котором был запущен Python-скрипт, использующий библиотеку meshtastic.

#### Методика

1. На два устройства Android было установлено мобильное приложение Meshtastic.
2. С первого устройства было отправлено текстовое сообщение «Ааааа».
3. Второе устройство, подключённое к ноутбуку через USB, принимало сообщение.
4. На ноутбуке был запущен Python-скрипт, использующий API Meshtastic для приёма и декодирования входящих сообщений.

```
|Type: <class 'dict'>
Received payload: b'Aaaaa'
Received: {'from': 472849352, 'to': 4189700796,
'decoded': {'portnum': 'TEXT_MESSAGE_APP', 'payload': b'Aaaaa', 'bitfield': 0, 'text': 'Aaaaa'},
'id': 45394383, 'rxTime': 1746801380, 'rxSnr': 11.25, 'hopLimit': 3, 'wantAck': True, 'rxRssi': -37, 'hopStart': 3,
'publicKey': 'L66L7eaGY/MQkJ34GDKrdIhZRHNFMDvYzdQQSCMoCQQ=', 'pkiEncrypted': True, 'raw': from: 472849352
to: 4189700796
decoded {
  portnum: TEXT_MESSAGE_APP
  payload: "Aaaaa"
  bitfield: 0
}
id: 45394383
rx_time: 1746801380
rx_snr: 11.25
hop_limit: 3
want_ack: true
rx_rssi: -37
hop_start: 3
public_key: "/256\213\355\346\206c\363\020\220\235\370\0302\253t\210YDsE1\3262e\324\020H#(\t\004"
pki_encrypted: true
, 'fromId': '!1c2f1bc8', 'toId': '!f9b9c2bc'}
```

#### Вывод скрипта

#### Интерпретация полученных данных

- **from / to** — числовые идентификаторы отправителя и получателя.
- **decoded.text** — содержимое сообщения в виде текста ("Ааааа").
- **rxSnr** (Signal-to-Noise Ratio) — отношение сигнала к шуму на приёме, здесь 11.25 дБ, что указывает на хорошее качество сигнала.

- **rxRssi** (Received Signal Strength Indicator) — уровень сигнала: -37 дБм, также свидетельствует о сильном приёме.
- **hopLimit** и **hopStart** — параметры маршрутизации, связанные с числом "прыжков" (передач через ретрансляторы).
- **publicKey** / **pkiEncrypted** — сообщение зашифровано, используется асимметричное шифрование с открытым ключом отправителя.
- **fromId** / **toId** — человекочитаемые идентификаторы узлов сети.

## **2. Разработка автономного ретранслятора на базе Meshtastic**

Автономный ретранслятор — это устройство, предназначенное для приёма и повторной передачи радиосигналов (или других видов данных) без участия пользователя и без подключения к внешним источникам питания, способное работать длительное время самостоятельно за счёт встроенного источника энергии, например аккумулятора или солнечной панели.

Выбор источника питания для автономного ретранслятора является одной из ключевых задач при проектировании отказоустойчивых децентрализованных сетей на базе технологии Meshtastic. Основными требованиями к системе питания являются: стабильная работа в условиях отсутствия стационарного электроснабжения, достаточная ёмкость для обеспечения круглосуточной работы устройства и устойчивость к внешним факторам, таким как температура и погодные условия.

### **Сравнительный анализ вариантов реализации автономного питания**

#### **1. Солнечная панель без встроенного аккумулятора**

Одним из возможных решений является использование солнечной панели, не оснащённой встроенным аккумулятором. Такой вариант требует дополнительно:

- внешнего аккумулятора подходящей ёмкости;
- контроллера заряда для безопасной зарядки аккумулятора;
- схемы стабилизации выходного напряжения.

Преимуществами данного подхода являются высокая гибкость в выборе аккумуляторов и компонентов, возможность масштабирования системы под конкретные условия эксплуатации. Однако такой вариант усложняет конструкцию, увеличивает количество соединений и снижает надёжность из-за большего числа элементов. Кроме того, требуется проведение дополнительных расчётов и тестирования на совместимость выбранных компонентов.

#### **2. Солнечная панель с внешним аккумулятором и контроллером заряда**



Второй вариант предполагает использование комплектов, в состав которых входят солнечная панель и внешний аккумулятор, соединённые через отдельный контроллер заряда. Такой подход упрощает сборку по сравнению с предыдущим вариантом, так как контроллер и аккумулятор уже совместимы с используемой панелью. Однако конструкция остаётся относительно громоздкой, требует защитного корпуса для размещения всех компонентов и сложна в установке в ограниченных пространствах.

### **3. Солнечная панель со встроенным аккумулятором**

Оптимальным решением для данной задачи является использование интегрированной солнечной панели со встроенным аккумулятором и встроенной схемой управления зарядом. Примером такого решения является выбранная панель с аккумулятором ёмкостью 10000 мА·ч (37 Вт·ч), мощностью солнечных элементов 21 Вт, выходным напряжением 5 В и максимальным выходным током до 3 А.

Преимуществами данного варианта являются:

- компактность и минимальное количество внешних соединений;
- наличие встроенного контроллера заряда, обеспечивающего безопасную эксплуатацию;
- готовность к эксплуатации без необходимости дополнительной сборки;
- защита корпуса от внешних воздействий (в зависимости от модели).

Благодаря этим свойствам обеспечивается высокая надёжность и простота развёртывания в полевых условиях.

### **Вывод**

Анализ показал, что использование солнечной панели с интегрированным аккумулятором является наиболее рациональным решением для создания автономного ретранслятора в сети Meshtastic. Данный вариант сочетает в себе достаточную мощность для поддержания круглосуточной работы устройства, минимальные требования к сборке и настройке, а также высокую устойчивость к эксплуатационным факторам. Именно по этим

причинам данный вариант был выбран в качестве основного для реализации в рамках проектируемой системы.

Выбор радиомодема для ретранслятора Meshtastic. При выборе радиомодема были рассмотрены следующие варианты:

### **LILYGO TTGO T-Beam V1.1 SX1262**

LILYGO TTGO T-Beam V1.1 представляет собой высококачественное решение на базе микроконтроллера ESP32 и радиочипа SX1262, одного из наиболее современных на данный момент трансиверов LoRa. Модем обладает следующими преимуществами:

- поддержка частотных диапазонов 433/863-870/902-928 МГц;
- наличие полноразмерной антенны и U.FL разъёма;
- современный высокочувствительный GPS-модуль NEO-8M;
- продвинутый контроллер питания с поддержкой стандартных аккумуляторов формата 18650.

К недостаткам данного варианта относится отсутствие встроенного дисплея и необходимость самостоятельной доработки устройства (пайка экрана и дополнительных компонентов). Кроме того, его стоимость (около 2800 рублей) выше по сравнению с другими доступными решениями.

### **Heltec WIFI Lora Kit 32 V2 SX1278**

Данная модель является наиболее доступным вариантом и оснащена старым радиочипом SX1278 с более низкими характеристиками по сравнению с SX1262. Встроенный дисплей 0.96" OLED является плюсом, однако данная плата имеет ряд существенных недостатков:

- устаревший микроконтроллер ESP3212;
- отсутствие полноценного контроллера питания;
- высокая вероятность выхода из строя;
- проблемы с переразрядом аккумулятора.

Несмотря на низкую стоимость (около 1500 рублей), данный вариант не рекомендуется к использованию в проектах, где требуется надёжность и долговременная эксплуатация.

### **LILYGO T3S3 V1.0 LoRa (выбранный модем)**

Анализируемая модель на базе микроконтроллера ESP32-S3 и радиочипа SX1262 для диапазонов 868/915 МГц или SX1280 для 2.4 ГГц сочетает в себе современные характеристики при оптимальном соотношении цены и качества. К основным достоинствам относятся:

- современный микроконтроллер ESP32-S3 с поддержкой Wi-Fi и Bluetooth 5.0;
- универсальность по радиочипам: SX1262 (868/915 МГц) или SX1280 (2.4 ГГц);
- компактные размеры (79×22 мм);
- минимальная цена по сравнению с более дорогими решениями на SX1262.

Хотя в комплект не входит дисплей и GPS-модуль, их отсутствие не является критичным для задач построения стационарного ретранслятора. При необходимости дисплей может быть подключён через стандартный интерфейс I2C. Отсутствие GPS оправдано, так как в большинстве сценариев стационарной установки координаты ретранслятора известны заранее и не требуют динамического обновления.

### **Вывод**

Сравнительный анализ показал, что оптимальным выбором для реализации ретранслятора Meshtastic является **LILYGO T3S3 V1.0 SX1262**. Данный модем обеспечивает современные технические характеристики, надёжность и поддержку актуальных диапазонов LoRa-связи. В отличие от TTGO T-Beam V1.1, он предлагается по более доступной цене, сохраняя при этом все ключевые возможности для построения отказоустойчивой сети. По сравнению с Heltec WiFi Lora Kit V2, выбранное решение обладает лучшими эксплуатационными характеристиками и надёжностью.

Таким образом, LILYGO T3S3 V1.0 признан наиболее сбалансированным решением, соответствующим целям и задачам исследуемой курсовой работы.

### **Конструкция**

Радиомодем был покрыт слоем влагозащитного лака для повышения устойчивости к воздействию внешней среды. Питание осуществляется от солнечной панели, оснащённой встроенным аккумулятором ёмкостью 6000 мА·ч при напряжении 5 В. Энергия, которую можно извлечь из аккумулятора ёмкостью 600 мАч и напряжением 5В равна 30 Вт. Для оценки энергопотребления ретранслятора был использован USB-тестер, с помощью которого замерено общее энергопотребление за фиксированный интервал времени. За 3 часа работы устройство потребило 0.804 Вт·ч, то есть его потребляемая мощность равна 0.208 Вт. На основе измеренного среднего энергопотребления и расчётной ёмкости аккумулятора было вычислено ориентировочное время автономной работы, которое равно 112 часа. Таким образом, ретранслятор способен проработать до **112 часов** (или более 4,5 суток) без подзарядки, при условии стабильного уровня потребления энергии. Это обеспечивает возможность функционирования устройства даже при отсутствии солнечного света в течение нескольких дней, что критически важно для надёжности в автономных полевых условиях.

## **Вывод**

Проведённое исследование доказало практическую ценность и технологическую реализуемость построения децентрализованной сети связи на основе технологии Meshtastic, использующей радиомодули LoRa. В условиях, когда традиционные средства коммуникации (сотовая связь, интернет) могут быть недоступны из-за природных катастроф, аварий, кибератак или военных конфликтов, Meshtastic предоставляет жизнеспособную альтернативу. Её преимущества заключаются в полной независимости от централизованной инфраструктуры, низком энергопотреблении и большой дальности действия.

Работа была направлена на создание автономного ретранслятора, способного обеспечить устойчивую и продолжительную работу сети даже в условиях отсутствия электроснабжения. В рамках проекта были решены следующие ключевые задачи:

1. Проведён технический обзор mesh-сетей и принципов работы Meshtastic.

Особое внимание было уделено механизму передачи данных, параметрам шифрования, логике ретрансляции сообщений и архитектуре сети, что позволило глубоко понять специфику функционирования этой платформы. Meshtastic оказался удобным и мощным инструментом, обладающим высокой гибкостью при настройке и надёжной системой безопасности, основанной на гибридном шифровании (AES + RSA).

2. Проведён сравнительный анализ источников питания для автономных устройств.

Три подхода — от солнечной панели без аккумулятора до интегрированной панели с аккумулятором — были рассмотрены на предмет эффективности, сложности реализации и надёжности. Вывод однозначен: оптимальным решением для полевых условий стала солнечная панель со встроенным аккумулятором и контроллером заряда. Она обеспечивает

компактность, защиту от внешней среды, лёгкость в установке и стабильную работу без необходимости внешнего вмешательства.

### 3. Выбран и обоснован лучший радиомодем для ретранслятора.

Из трёх протестированных моделей наилучшие характеристики показал LILYGO T3S3 V1.0 SX1262 — благодаря современному микроконтроллеру, поддержке Bluetooth/Wi-Fi, широкому диапазону частот и высокой надёжности. Он обошёл конкурентов по соотношению цена–качество, а отсутствие GPS и дисплея оказалось несущественным для задач стационарного ретранслятора.

### 4. Проведена практическая реализация устройства и его испытания.

Конструкция была собрана, покрыта влагозащитным лаком, подключена к солнечному источнику питания. С помощью USB-тестера было измерено энергопотребление: 0.208 Вт. При аккумуляторе на 6000 мА·ч ретранслятор может автономно работать до 112 часов (более 4,5 суток) без солнечного света — это критически важное свойство для эксплуатации в реальных условиях (плохая погода, ночь, затенённость и др.).