

эффективные решения в системах с критическими требованиями к скорости и точности распознавания БПЛА по их радиосигналу.

#### Список использованных источников

1. Liu, W. Wireless Technology Recognition Based on RSSI Distribution at Sub-Nyquist Sampling Rate for Constrained Devices / W. Liu, M. Kulin, T. Kazaz [и др.]. – DOI 10.3390/s17092081. – Текст : электронный // Sensors. – 2017. – Т. 17, № 9. – 2081. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/9/2081A>
2. Ozturk, E. RF-Based Low-SNR Classification of UAVs Using Convolutional Neural Networks / E. Ozturk, F. Erden, I. Guvenc. – Текст : электронный // arXiv.org. – 2020. – arXiv:2009.05519. – URL: <https://arxiv.org/abs/2009.05519>
3. Zhao, Z. A Two-Dimensional Deep Network for RF-based Drone Detection and Identification Towards Secure Coverage Extension / Z. Zhao, Q. Du, X. Yao [и др.]. – Текст: электронный // IEEE Xplore. – 2023. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10333485>
4. Ozturk, E. RF-based low-SNR classification of UAVs using convolutional neural networks / E. Ozturk, F. Erden, I. Guvenc. – DOI 10.52953/QJGH3217. – Текст : электронный // ITU Journal on Future and Evolving Technologies. – 2021. – Т. 2, № 5. – С. 39–52. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/355660459\\_RF-based\\_low-SNR\\_classification\\_of\\_UAVs\\_using\\_convolutional\\_neural\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/355660459_RF-based_low-SNR_classification_of_UAVs_using_convolutional_neural_networks)
5. Ezuma, M. Micro-UAV Detection and Classification from RF Fingerprints Using Machine Learning Techniques / M. Ezuma, F. Erden, C. K. Anjinappa [и др.]. – DOI 10.1109/AERO.2019.8741970. – Текст : электронный // IEEE Xplore. – 2019. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/333923767\\_Micro-UAV\\_Detection\\_and\\_Classification\\_from\\_RF\\_Fingerprints\\_Using\\_Machine\\_Learning\\_Techniques](https://www.researchgate.net/publication/333923767_Micro-UAV_Detection_and_Classification_from_RF_Fingerprints_Using_Machine_Learning_Techniques)
6. Berg, A. P. 15,500 Seconds: Lean UAV Classification Using EfficientNet and Lightweight Fine-Tuning / A. P. Berg, Q. Zhang, M. Y. Wang. – Текст : электронный // arXiv.org. – 2025. – arXiv:2506.11049. – URL: <https://arxiv.org/abs/2506.11049>

Князьков Сергей Александрович, аспирант гр. А1\_02.02.08, инженер 2 кат. ООО «КВАДРО КОД», [sergey-knyz@bk.ru](mailto:sergey-knyz@bk.ru)

Зеленский Владимир Анатольевич, д.т.н., доцент, зав. каф. РЭС, [zelenskiy.va@ssau.ru](mailto:zelenskiy.va@ssau.ru)

УДК 004.738.5

### **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЯЧЕЙСТЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ МОДУЛЯЦИИ LORA**

Е.Р. Дубровин

«Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королёва», ООО «КВАДРО КОД», г. Самара

В связи со стремительным развитием концепции Интернета Вещей (IoT) в современном мире, постоянно появляются новые и развиваются уже существующие технологии для построения сетей, объединяющие и связывающие устройства-участники единой экосистемы между собой.

Очень важным направлением построения сетей является беспроводное, так как оно обеспечивает масштабируемость сети, быстроту настройки, малые затраты на организацию и высокую гибкость применения.

На сегодняшний день из популярных технологий для построения сетей ячеистого типа можно выделить такие решения как Meshtastic (MT) и MeshCore (MC), использующие для организации сетей модуляцию LoRa.

Meshtastic – это открытый программно-аппаратный проект и протокол децентрализованной беспроводной связи, предназначенный для построения автономных ячеистых сетей в нелицензируемых диапазонах радиоспектра на базе модуляции LoRa. Система ориентирована на обмен короткими текстовыми сообщениями, телеметрий и данными датчиков в условиях отсутствия интернета или сотового покрытия. Появился данный проект в 2020 году. Для работы MT необходим клиент, доступный на всех актуальных платформах (IOS, Android, Windows, GNU Linux), а также поддерживаемый MT радиомодуль с установленным ПО Meshtastic firmware. В Meshtastic для доставки сообщения используется управляемая лавинная маршрутизация (Managed Flood Routing) [1]. Работает данная маршрутизация следующим образом:

- сообщение подготавливается, отправляется из приложения пользователя на радиомодуль посредством Bluetooth, Wi-Fi или соединения через последовательный порт;

- сообщение модулируется в LoRa-сигнал и отправляется в эфир;

- сигнал принимается получателем или ретранслятором. В пакете данных записано количество допустимого количества ретрансляций (в Meshtastic не более 7) и количество оставшихся от изначального числа ретрансляций;

- если сигнал был принят получателем, то он демодулирует информации и обрабатывает. Если сигнал был принят ретранслятором, то он сравнивает сообщение с сообщениями в собственном кэше и, в случае несоответствия, в течение фиксированного времени ожидает в эфире прочих ретрансляций для избегания коллизий, после чего отправляет сигнал, снижая количество оставшихся ретрансляций в данных на 1;

Таким образом в Meshtastic используется очень простой и интуитивно понятный метод маршрутизации сообщений, не использующий фиксированные пути доставки сообщений. Важно упомянуть, что в MT каждый узел сети является как клиентом, так и ретранслятором. Этот принцип обуславливает главный недостаток экосистемы Meshtastic, - даже при отправке одного сообщения одному получателю, особенно в местах повышенного скопления узлов сети, эфир занимается ретрансляциями, и их количество растёт как с ростом количества узлов сети, так и с ростом количества необходимых для доставки сообщения ретрансляций [2].

MeshCore – это тоже открытый сетевой протокол для построения автономных децентрализованных ячеистых сетей, использующий модуляцию LoRa. Появился MeshCore в начале 2025 года в результате желания

энтузиастов разработать более эффективный протокол обмена информацией, чем Meshtastic. Для его работы тоже необходимы поддерживаемый МС радиомодуль и приложение на актуальных платформах. МС во многом схож с Meshtastic, но реализует механизмы построения сетей и обмена информацией другими, более эффективными, методами [3].

Для доставки сообщения используется не управляемая лавинная маршрутизация, а система оповещения присутствия в сети (Advert), описанная далее:

- по желанию или раз в установленный пользователем интервал времени радиомодуль отправляет в эфир сообщение о своём наличии, модулированное с помощью LoRa;

- либо клиент, либо ретранслятор принимают данное сообщение, при этом в MeshCore клиент сети не может выступать в качестве ретранслятора, а ретранслятор не может выступать в качестве клиента;

- если оповещение получил клиент, то узел запоминает, что отправитель находится в прямой доступности, но не ретранслирует оповещение дальше. Если оповещение получил ретранслятор, то он увеличивает количество ретрансляций, записанное в пакете данных на 1, записывает в пакет свой идентификатор в качестве узла ретрансляции, ждёт некоторое время и отправляет дальше. Важно отметить, что максимально допустимое количество ретрансляций для пакета данных составляет 64;

- при получении ретранслированного оповещения клиентом, количество ретрансляций извлекается и сохраняется в память. При этом MeshCore поддерживает возможность ручной маршрутизации через конкретные выбранные пользователем ретрансляторы.

При отправке сообщения проходит по установленному пути, полученному в процессе оповещения о присутствии.

Таким образом, MeshCore использует более эффективную маршрутизацию, чем Meshtastic, жертвуя при этом возможностью узлов одновременно выступать в роли как ретрансляторов, так и клиентов сети [4].

В конечном итоге выбор технологии зависит от потребностей конечного пользователя. Если целью является малая сеть с немногочисленными узлами, которую можно организовать в кратчайшие сроки без особых финансовых затрат, то Meshtastic является подходящим решением. Если же целью является построение масштабной ячеистой сети с большим количеством узлов с высокой надёжностью и требованиями к масштабированию, то лучше подойдёт MeshCore.

#### Список использованных источников

- |                                                                                                                                            |                      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|
| 1. Meshtastic                                                                                                                              | [Электронный ресурс] | URL: |
| <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/Meshtastic">https://ru.wikipedia.org/wiki/Meshtastic</a> (дата обращения: 11.03.2026)               |                      |      |
| 2. Current mesh algorithm                                                                                                                  | [Электронный ресурс] | URL: |
| <a href="https://meshtastic.org/docs/overview/mesh-algo/">https://meshtastic.org/docs/overview/mesh-algo/</a> (дата обращения: 11.03.2026) |                      |      |

3. MeshCore [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/meshcore-dev/MeshCore> (дата обращения: 11.03.2026)

4. MeshCore wiki [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/meshcore-dev/MeshCore/wiki/FAQ/> (дата обращения: 11.03.2026)

Дубровин Егор Романович, студ. гр. 6131-110403D, инж. ООО «КВАДРО КОД», [dubrovin.duber@mail.ru](mailto:dubrovin.duber@mail.ru)

УДК 621.382

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**

Д.И. Морозов<sup>1</sup>, А.А. Гавриков<sup>2</sup>, В.И. Смирнов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ульяновский государственный технический университет,

<sup>2</sup>Ульяновский филиал ФГБУН Института радиотехники и электроники им.

В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Ульяновск

**Ключевые слова:** тепловое сопротивление, полупроводниковые приборы.

На надёжность полупроводниковых приборов существенно влияет их температура в процессе эксплуатации. Их интенсивность отказов увеличивается в разы, если температура кристалла достигает 100 °С. Если при этом электрорадиоэлемент (в дальнейшем ЭРЭ) эксплуатируется на предельных электрических режимах, то интенсивность отказов становится ещё выше. Поэтому контроль качества отвода тепла от полупроводникового кристалла приобретает важное значение. Качество отвода тепла от активной области кристалла к корпусу характеризуется компонентой теплового сопротивления полупроводникового прибора  $R_{TjC}$  – тепловое сопротивление «переход-корпус» (junction-to-case), и определяется отношением приращения температуры на p-n переходе к мощности, рассеиваемой на ЭРЭ, при протекании через него греющего тока. Температура p-n перехода определяется на основе температурочувствительного параметра, в качестве которого используется падение напряжения при протекании малого измерительного тока.

Целью данной работы является сравнительный анализ существующих методов измерения теплового сопротивления, используемых как в России, так и в зарубежных странах.

Существуют различные методы измерения теплового сопротивления, описанные как в российских, так и в зарубежных стандартах, однако они либо морально устарели, как, например, метод, описанный в стандарте ОСТ 11 0944–96, либо сопряжены с некоторыми сложностями, начиная от условий проведения измерения и заканчивая стоимостью измерительного оборудования.