

УДК 621.396.946

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ LORA ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СЕТЕЙ

*В. Е. Сивоконь, В. Р. Авельцев*

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

**Аннотация.** Метод беспочвенного выращивания растений с применением гидропонного оборудования приобрел огромную популярность в современном мире. Как правило, при этой технологии используются большие площади посевов. Промышленные гидропонные фермы требуют установки целых сетей базовых станций для сбора и передачи информации о качестве, температуре и влажности воздуха, фоновой освещенности, кислотности почвы. При этом возникают трудности, связанные с передачей данных от комплексов датчиков на полях к центральному узлу всей системы. Цель данной работы — выявить и обосновать перспективу применения и развития энергоэффективных беспроводных технологий в устройствах для сбора и передачи информации, используемых в целях мониторинга и управления на автоматизированных предприятиях большой площади, подобрать наиболее эффективную технологию беспроводной связи, на основе которой разработать прототип системы отслеживания параметров окружающей среды.

**Ключевые слова:** гидропоника, микроклимат, энергоэффективные сети, беспроводные технологии, технология LoRa, микроконтроллер, датчики мониторинга.

## APPLICATION OF LORA TECHNOLOGY FOR THE ORGANIZATION OF ENERGY-EFFICIENT NETWORKS

*Viktor E. Sivokon, Vladislav R. Aveltsev*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

**Abstract.** The method of soilless cultivation of plants using hydroponic equipment has gained immense popularity in the modern world. As a rule, this technology uses large areas of crops. Industrial hydroponic farms require the installation of entire networks of base stations to collect and transmit information about air quality, temperature and humidity, background light, soil acidity. At the same time, there are difficulties associated with the transmission of data from sensor complexes in the fields to the central node of the entire system. The work objective is to identify and substantiate the prospects for the application and development of energy-efficient wireless technologies in devices for collecting and transmitting information used for monitoring and management at automated enterprises of a large area, to select the most effective wireless communication technology, on the basis of which to develop a prototype of an environmental monitoring system.

**Keywords:** hydroponics, microclimate, energy-efficient networks, wireless technologies, LoRa technology, microcontroller, monitoring sensors.

**Введение.** Масштаб использования гидропоники в современном мире поражает: от вмещающихся на обычном подоконнике устройств для выращивания микрозелени до огромных вертикальных сити-ферм, обычно размещаемых на крышах и в подвальных помещениях многоэтажных домов, или промышленных комплексов теплиц, снабжающих продукцией крупные города. Устройству такого типа требуется значительно меньше воды и удобрений, чем при классическом способе выращивания растений. При этом урожайность продукции многократно возрастает. Технологии гидропоники могут стать одним из способов решения проблемы мирового голода [1].

Вне зависимости от масштабов, каждая ферма требует постоянного мониторинга состояния воздуха, освещенности, кислотности питательной среды и так далее. В условиях небольших помещений данные можно передавать посредством проводов или через сеть Интернет при помощи технологии Wi-Fi. Но если теплица занимает сотни квадратных метров, вышеописанные способы становятся либо очень трудоёмкими и затратными в исполнении, либо попросту

невозможными [2]. В таком случае наиболее подходящим способом передачи данных между модулями может стать беспроводная связь с использованием радиочастотного канала.

**Основная часть.** Для применения в рамках промышленных гидропонных теплиц система связи должна удовлетворять нескольким основным требованиям:

- радиус действия передатчика не менее километра;
- высокая энергоэффективность сети;
- высокая чувствительность приемника;
- невысокая стоимость всей системы;
- использование открытого диапазона радиочастот.

На данный момент в мире существует множество различных открытых технологий беспроводной связи, которые можно использовать для решения данной задачи. Каждая технология имеет свои особенности, достоинства и недостатки. Сложно выделить среди них лучшую, ведь у каждой есть характерные, только ей присущие особенности [3]. Исходя из конкретных требований, можно выбрать из существующих технологий ту, которая наилучшим образом подойдет для того или иного применения. Для рационального выбора технологии, на основе которой будет разрабатываться устройство, требуется провести сравнительный анализ самых популярных существующих технологий беспроводной передачи данных.

1. Wi-Fi — это наиболее часто используемая технология для создания беспроводной локальной сети. Протокол обладает высокой пропускной способностью и повсеместно распространен в современном мире. Однако данная технология отличается высоким энергопотреблением в режиме передачи данных, а также малым радиусом действия (от 20 до 100 метров в зависимости от характеристик передатчика) [2]. Установка ретрансляторов для увеличения площади охвата неизбежно ведет к стремительному увеличению стоимости создания сети. Таким образом, данная технология не удовлетворяет вышеперечисленным требованиям.

2. Bluetooth — это широко распространенная технология для создания беспроводных персональных сетей. В данный момент поддержка технологии Bluetooth присутствует практически на всех персональных электронных устройствах. Протокол Bluetooth обеспечивает большую скорость передачи данных с высокой надежностью, но обладает малым радиусом действия (до 10–15 метров) и низкой проникающей способностью. По сравнению с технологией Wi-Fi, устройства Bluetooth потребляют значительно меньше энергии, однако они всё еще более энергоёмки, чем устройства, использующие технологии Sigfox или LoRa.

3. LTE-M — это технология маломощной глобальной сети радиосвязи, разработанная для межмашинного взаимодействия, широко распространенная в мире. Технология LTE-M характеризуется высокой пропускной способностью данных, большим радиусом передачи, возможностью поддержки множества устройств в рамках одной сети, однако вследствие этого отличается низкой энергоэффективностью и высокой стоимостью оборудования [2]. Кроме того, данная технология сложна в развертывании.

4. ZigBee — протокол связи высокого уровня, используемый для создания персональных локальных сетей. Технология основывается на использовании топологии ячеистой сети, которая позволяет передавать данные на короткие и средние дистанции посредством промежуточных устройств. Использование устройств сети в качестве ретрансляторов негативно влияет на их энергоэффективность. Для передачи данных на большие расстояния потребуются создание сложной и дорогостоящей сети, состоящей из множества устройств.

5. Sigfox — технология создания низкоскоростных беспроводных сетей с высокой энергоэффективностью. Для передачи данных используется ультра-узкая полоса частот с двоичной фазовой манипуляцией. Благодаря этому скорость передачи данных достигает 100 бит/с, а радиус действия сети — 10–15 километров. Кроме того, достигается высокая проникающая способность, благодаря чему сигнал может достигать даже подземных объектов. Кодирование осуществляется посредством изменения фазы несущей волны. Это позволяет значительно уменьшить уровень шума на приёмнике. Технология Sigfox основывается на использовании топологии сети «звезда» с одним переходом и разворачивается на основе использования современных сотовых сетей. Из-за зависимости от сотовой инфраструктуры устройство может

отправлять не более 140 сообщений в день, каждое из которых содержит не более 12 байт полезных данных.

6. LoRa — технология создания энергоэффективных сетей передачи данных, ориентированная на устройства с батарейным питанием. В ней используется метод модуляции сигнала с расширением спектра, при этом данные кодируются широкополосными импульсами с изменяемой частотой. Благодаря этому значительно повышается чувствительность приёмника, дальность связи достигает 15 километров на открытой местности. Максимальная скорость передачи данных не превышает 50 кб/с, из-за чего технология не может использоваться для передачи больших объемов информации [4]. Технология LoRa позволяет создавать сети устройств с различной топологией: точка-точка, звезда и ячеистая сеть.

В ходе сравнительного анализа были выявлены следующие преимущества технологии LoRa:

- высокая энергоэффективность;
- большой радиус действия — до 15 километров на открытой местности;
- модульность — поддержка множества различных периферийных устройств;
- возможность создания сетей с различной топологией.

По результатам сравнительного анализа и с учетом требований к разрабатываемой системе было принято решение разработки сети устройств на основе технологии LoRa.

LoRa (от англ. Long Range) — запатентованная технология модуляции маломощных сетей передачи данных. Устройства, основанные на данной технологии, ориентированы на питание от аккумуляторов, что позволяет создавать энергоэффективные сети передачи данных на расстояния до пяти километров в условиях плотной городской застройки и до 15 километров на открытой местности. При этом скорость передачи достигает 50 кб/с [4, 5].

Технология LoRa была разработана компанией Semtech и использует запатентованный метод модуляции сигнала с расширением спектра, где данные кодируются широкополосными импульсами с изменяемой частотой. Использование такого метода позволяет значительно повысить чувствительность приемника (до  $-148$  дБм), использовать всю ширину полосы пропускания канала для передачи сигнала и обеспечить низкое энергопотребление в течение всего времени работы. Благодаря этому технология набирает популярность в автономных встраиваемых системах с батарейным питанием, которые передают небольшие объемы данных с короткими интервалами на большие расстояния [6].

Для работы LoRa использует нелицензируемые диапазоны радиочастот ниже 1 ГГц с мощностью передатчика не более 25 мВт. Для Российской Федерации это диапазон EU863-870 (863-870 МГц), регулируемый решением ГКРЧ при Министерстве по связи и информации Российской Федерации № 07-20-03-001 от 07.05.2007 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» [7].

В качестве основы для создания системы мониторинга была использована универсальная плата разработки Heltec WiFi LoRa Kit 32 v2 — платформа, разработанная компанией Heltec Automation, основанная на микропроцессоре ESP32 в связке с приёмопередатчиком SX1276. Кроме того, в универсальную плату интегрированы:

- монохромный OLED дисплей диагональю 0.96" разрешением 128x64 пикселей;
- модуль последовательной флэш-памяти W25Q32FV;
- интерфейс microUSB с регулировкой напряжения, защитой от короткого замыкания и высокочастотных помех;
- модуль преобразователя USB-UART CP2102, позволяющий программировать микропроцессор при помощи интерфейса USB;
- поддержка таких протоколов связи, как WiFi, Bluetooth и LoRa;
- поддержка среды программирования Arduino [8].

Поддержка данной платой среды программирования Arduino значительно упрощает процесс разработки программного обеспечения и позволяет использовать множество видов периферийных устройств, например различных датчиков, дисплеев и т. д.

Для передачи данных в разрабатываемой системе будет использоваться сеть, основанная на топологии «звезда»: три базовых станции передают информацию (данные мониторинга) на центральный узел, который выводит данные на дисплей и отслеживает динамику их изменений.

Базовая станция основывается на вышеописанной плате Heltec, работающей в режиме передатчика, к которой подключены три датчика мониторинга состояния окружающей среды: CCS811, HDC1080 и BH1750. Подбор датчиков осуществлялся с учётом их энергопотребления и точности измерения. Все датчики имеют высокую энергоэффективность, что соответствует изначальным требованиям к создаваемой системе. Электропитание базовой станции осуществляется посредством литий-полимерного аккумулятора. Кроме того, в состав базовой станции входит универсальный зарядный модуль J5019. Для подключения датчиков к микроконтроллеру используется последовательный интерфейс I2C.

Принцип работы базовой станции следующий: микроконтроллер обрабатывает информацию, полученную от датчиков, и отображает её на встроенном OLED-дисплее, затем формирует и отправляет пакет данных, в который входят адрес отправителя, адрес получателя, информация, полученная от датчиков, номер пакета и его длина.

Характеристики используемых датчиков:

CCS811 — датчик качества воздуха, определяющий концентрацию TVOC (летучие органические вещества) и CO<sub>2</sub> в окружающем воздухе. Энергопотребление датчика в момент измерения не превышает 20 мА, что удовлетворяет концепции батарейного питания устройства. Концентрации TVOC и CO<sub>2</sub> измеряются в следующих диапазонах: 400-8192 ppm для углекислого газа и 0-1187 ppb для летучих органических веществ. Конструктивно датчик состоит из двух основных блоков: датчика MOX (металл-оксид-полупроводник) и встроенного микроконтроллера с АЦП, преобразующего показания сенсора в готовые выходные данные.

HDC1080 — датчик, измеряющий температуру и влажность воздуха с высокой точностью. Максимальное энергопотребление не превышает 1.3 мкА. HDC1080 способен измерять температуру в диапазоне от -20 до +80° С с точностью до ±0.2° С и влажность в диапазоне от 0 до 100 % с точностью до ±2 %.

BH1750 — датчик, предназначенный для измерения уровня фоновой освещенности (люксметр). Спектральная чувствительность измерительного фотодиода находится в видимом диапазоне, сенсор практически не подвержен влиянию инфракрасного излучения. Ток потребления датчика не превышает 120 мкА в режиме измерения с максимальной чувствительностью. BH1750 способен измерять освещенность в диапазоне от 0 до 65536 лк с чувствительностью до 1 лк.

Центральный узел системы представляет собой плату Heltec, работающую в режиме приёмника, к которой подключен TFT-дисплей диагональю 2.4" с разрешением 240x320 точек. Выбор дисплея обоснован необходимостью одновременного отображения большого количества данных, получаемых сразу от трёх базовых станций. Выбранный дисплей позволяет отображать всю необходимую информацию и обеспечивает удобство чтения для оператора контроля.

При получении пакета данных от одной из базовых станций приёмник производит проверку: сравнивает адрес получателя с заданным адресом приёмника, затем сравнивает размер полученного пакета с размером отправленного передатчиком. Если все данные совпадают, приёмник определяет адрес отправителя и выводит полученные данные на дисплей.

Производительность микроконтроллера ESP32 позволяет в перспективе использовать центральный узел системы не только для концентрации и отображения информации, но и для осуществления управления системами гидропонной фермы. Анализируя полученные от базовых станций данные, центральный узел сможет осуществлять корректировку интенсивности освещения, режима микроклимата в помещении, а также отслеживать динамику изменения показателей.

**Заключение.** В статье рассмотрены проблемы сбора информации с больших площадей и передачи данных на большое расстояние в сетях с низким энергопотреблением. Рассмотрена возможность применения технологии LoRa для организации энергоэффективной сети устройств с целью сбора и передачи данных на автоматизированных предприятиях большой площади. В

качестве решения данных проблем разработано программное обеспечение для использования технологии LoRa и создан на её основе прототип автономной системы мониторинга параметров окружающей среды, базирующейся на энергоэффективной беспроводной сети передачи данных. Выявлена и обоснована перспектива применения и развития энергоэффективных беспроводных технологий в устройствах для сбора и передачи информации, используемых в целях мониторинга и управления на автоматизированных предприятиях большой площади.

#### Библиографический список

1. Здания вертикальных ферм в умных городах / Х. П. Эскобар, А. А. Сандоваль, П. М. Биензи, Х. Д. Саласар // Системные технологии. — 2020. — № 1 (34). — С. 73–76.
2. Прощенок, Э. В. Сравнение технологии LoRa с актуальными технологиями передачи данных / Э. В. Прощенок // Современные стратегии и цифровые трансформации устойчивого развития общества, образования и науки. — Москва, 2022. — С. 187–191.
3. Как выбрать стандарт связи для сети IoT // [habr.com](https://habr.com/ru/company/commandspot/blog/390825/) : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/company/commandspot/blog/390825/> (дата обращения: 20.11.2022).
4. Сравнение LoRa и других беспроводных технологий // [mokolora.com](https://www.mokolora.com/ru/lora-and-wireless-technologies/) : [сайт]. — URL: <https://www.mokolora.com/ru/lora-and-wireless-technologies/> (дата обращения: 19.11.2022).
5. Технология LoRa // [merusoft.ru](https://merusoft.ru/) : [сайт]. — URL: <https://merusoft.ru/lora/> (дата обращения: 20.11.2022).
6. Фролов, И. Н. Использование технологии LoRa в проектах развертывания распределенных систем / И. Н. Фролов, Н. Г. Кудрявцев // Информация и образование: границы коммуникаций. — 2022. — № 14 (22). — С. 236–238.
7. О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия : [решение ГКРЧ при Министерстве по связи и информации Российской Федерации от 7 мая 2007 года] / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/902048009> (дата обращения: 25.11.2022).
8. Heltec WiFi Kit 32 / [heltec.org](https://heltec.org/): Heltec Automation™ official website. [website]. — URL: <https://heltec.org/project/wifi-kit-32/> (дата обращения: 18.11.2022).

*Об авторах:*

**Сивоконь Виктор Евгеньевич**, доцент кафедры «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, [sve6599@yandex.ru](mailto:sve6599@yandex.ru)

**Авельцев Владислав Романович**, студент кафедры «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [vladcvyaznoy@gmail.com](mailto:vladcvyaznoy@gmail.com)

*About the Authors:*

**Sivokon, Viktor E.**, associate professor of the Electrical Engineering and Electronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), Cand.Sci. (Eng.), associate professor, [sve6599@yandex.ru](mailto:sve6599@yandex.ru)

**Aveltsev, Vladislav R.**, student of the Electrical Engineering and Electronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), [vladcvyaznoy@gmail.com](mailto:vladcvyaznoy@gmail.com)