

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ LPWAN В МОНИТОРИНГЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

*Рашидов Азизжон Вохид угли
Вакилова Зарина Зоҳид қизи
Qarshi Xalqaro Universiteti*

Аннотация:

В статье рассматривается применение технологий LPWAN (Low Power Wide Area Network) для мониторинга экологической обстановки. Описаны основные преимущества LPWAN, такие как низкое энергопотребление, большой радиус действия и высокая энергоэффективность. Приведены примеры ключевых протоколов, включая LoRa, Sigfox и NB-IoT, и их использование в задачах мониторинга качества воздуха, водоемов и лесных массивов. Подчеркивается значимость внедрения LPWAN для улучшения контроля состояния окружающей среды и принятия своевременных мер по ее сохранению.

Abstract:

The article discusses the application of LPWAN (Low Power Wide Area Network) technologies for environmental monitoring. It highlights the main advantages of LPWAN, such as low energy consumption, wide coverage range, and high energy efficiency. Key protocols, including LoRa, Sigfox, and NB-IoT, are described along with their use in monitoring air quality, water bodies, and forests. The importance of implementing LPWAN systems to enhance environmental monitoring and enable timely response measures is emphasized.

Ключевые слова: LPWAN, экологический мониторинг, LoRa, Sigfox, NB-IoT, контроль качества воздуха, мониторинг водоемов, энергоэффективность, беспроводные сенсорные сети, передача данных.

На протяжении десятилетий загрязнение воздуха было глобальной проблемой в наше время. Увеличение количества транспортных средств, развитие промышленных парков, увеличение потребления энергии - все это оказывает крайне негативное влияние на состояние атмосферы.

Загрязнение воздуха - это ряд экологических проблем, связанных с выбросом химических веществ и накоплением концентраций природного газа в воздухе. При попадании посторонних предметов в атмосферную оболочку изменяется естественная пропорция газов, что оказывает негативное влияние на жизнь и развитие биосферы. Лесные пожары, промышленные отходы и автомобильные выхлопы являются одними из основных источников

загрязнения. Воздух в мегаполисах насыщен угарным газом, азотом и серой, что увеличивает риск респираторных заболеваний.

По итогам 2018 года выброс загрязняющих веществ в атмосферу в Российской Федерации достиг 32 327 000 тонн, причем 52,8% из 9 выбросов пришлось на стационарные источники загрязнения [9]. Улавливание и нейтрализация загрязняющих веществ составляет приблизительно 46 748,7 килотонн (73,3%). Вообще говоря, динамика выбросов загрязняющих веществ в период с 2010 по 2018 год не демонстрирует положительной или отрицательной динамики (рис.1).



Рисунок 1 – Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в 2010-2018 гг. в РФ, тыс. тонн [9]

В 2010 году объем выбросов составлял 32 353 тыс. тонн, в 2018 году 32 327 тыс. тонн (рисунок 1). В 2014-2016 гг. наблюдалось небольшое снижение объемов выбросов, связанное с общим ухудшением макроэкономической ситуации и снижением уровня производства. Изменилась структура выбросов: в 2010 году доли стационарных и передвижных источников составляли 59,1% и 40,9% соответственно, к 2018 году соотношение изменилось и составило 52,8% и 47,2% соответственно.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в России являются топливно-энергетический комплекс, обрабатывающие производства, добыча полезных ископаемых, транспортные компании (рисунок 2).



Рисунок 2 – Вклад основных видов экономической деятельности в загрязнение атмосферного воздуха в 2018 году. [9]

Автомобильный транспорт также является основным источником загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу. По данным Росприроднадзора за 2018 год, выбросы от автомобильного транспорта составили 15 259 килотонн, что на 4,4% больше, чем в 2017 году [9,10]. Лидером по выбросам загрязняющих веществ автомобильным транспортом является Центральный федеральный округ, на долю которого приходится 26,2% автомобильных выбросов, за ним следует Приволжский федеральный округ, на долю которого приходится 20,6%.

В 143 городах (58% наблюдаемых городов) среднегодовая концентрация вещества превышает 1 млн. В городе проживает 560 тысяч человек.

Среднегодовая концентрация взвешенных веществ превышает 1 миллион в 52 городах, бензола(А)пирена - в 56 городах и диоксида азота (двуокиси азота) - в 50 городах. С учетом нового оборудования. Чрезмерное загрязнение воздуха и формальдегид затрагивают 303 000 человек в 46 городах.- 65,4 миллиона человек в 152 городах.

В 37 городах самая высокая концентрация загрязняющих веществ превышает 10 миллионов. В них проживает 12,6 миллиона человек. Концентрация бензопирен превышает 10 миллионов вон в 32 городах с населением 86 000 человек и 5 миллионов вон в 49 городах с населением 133 000 человек. В четырех городах самые высокие концентрации диоксида азота, свинца, ксилола и этилбензола превысили 1000 мкг водорода. В общей

сложности за год было зарегистрировано 219 случаев попадания различных загрязняющих веществ на сумму свыше 10 миллионов тонн.

Поэтому промышленные предприятия и автомобили ежегодно выбрасывают в атмосферу больше всего вредных веществ, негативно влияя на окружающую среду и здоровье населения. По состоянию на 2018 год около 56 миллионов жителей дышат загрязненным воздухом в 143 городах Российской Федерации. При сохранении текущей динамики выбросов здоровье населения может значительно ухудшиться в следующем десятилетии, что негативно скажется на показателях социально-экономического развития каждого региона.

Беспроводная связь между двумя устройствами осуществляется с помощью формирования радиоимпульса определенной частоты и амплитуды, промодулированного полезной информацией. Приемник осуществляет фильтрацию принятого сигнала от помех и демодуляцию информационного сигнала [1].

LPWAN — беспроводная технология передачи данных, с помощью которой осуществляется сбор данных с датчиков, счетчиков, сканеров, регуляторов, сенсоров. Измерительные устройства связаны с базовым устройством по беспроводному каналу. Для передачи данных по радиоканалу, как правило, применяется нелицензируемый спектр частот, разрешенных к свободному использованию. В России для данных целей разрешена довольно узкая полоса на частоте 433 МГц при мощности передаваемого сигнала до 10 мВт. LPWAN используют для передачи малого объема данных [3]. Широкое распространение такие сети получили в системах автоматизации сбора показаний приборов, системах промышленного мониторинга и управления.

Впервые технология LoRa была представлена в 2015 г. организацией LoRa Alliance. Данное сообщество было основано с целью принятия и продвижения протокола LoRaWAN в качестве единого стандарта для глобальных сетей LPWAN. LoRa Alliance — некоммерческая ассоциация более чем 500 компаний, обеспечивающих крупномасштабное развертывание сетей LPWAN посредством разработки и продвижения открытого стандарта LoRaWAN — протокола для сетей, содержащих до 1 000 000 устройств и имеющих широкий радиус действия (до 10 км на открытой местности) при низком энергопотреблении [4].

Схематически архитектура сети LoRaWAN с использованием оконечных устройств (беспроводных датчиков) на базе трансиверов LoRa представлена на рис. 1 [5]. LoRaWAN позволяет осуществить двухстороннюю связь между конечными устройствами (узлами) сети и имеет специальное шифрование данных, обеспечивая безопасность и сохранность передаваемых данных [6].

Сеть LoRaWAN представляет собой систему оконечных устройств, данные с которых передаются на шлюзы, после чего — на сервер сети провайдера и

сервер приложений, откуда данные поступают к конечному пользователю. В сети LoRaWAN шлюзы также называют концентраторами, конечные устройства — точками или узлами [6].

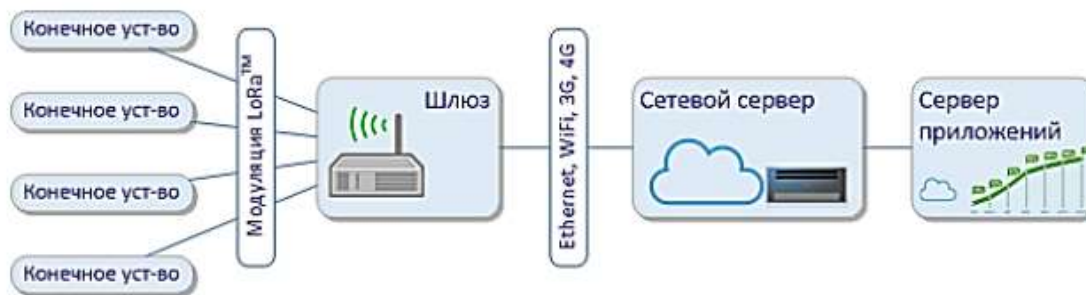


Рисунок 3 – Архитектура сети LoRaWAN

В технологии LoRa используется собственный метод модуляции информационным сигналом, основанный на расширении спектра и вариации линейночастотной модуляции, при которой данные кодируются широкополосными импульсами. Такой вид модулирования данных делает приемник устойчивым к отклонениям частоты от номинального значения, позволяет снизить требования к генератору тактовых импульсов, поэтому можно использовать менее точные и более дешевые кварцевые резонаторы [7].

Структурная схема сети LPWAN - устройства IoT, которые используют LoRaWAN для беспроводной связи на дальние расстояния

- Базовые станции, которые принимают данные от устройств и пересылают их на сервер
- Серверы, которые обрабатывают и хранят данные, полученные от устройств через базовые станции.

Кроме того, в структуре LoRaWAN могут использоваться ретрансляторы, которые увеличивают зону покрытия сети и улучшают качество связи.

На рисунке 4 представлен структурная схема LPWAN системы мониторинга окружающей среды.

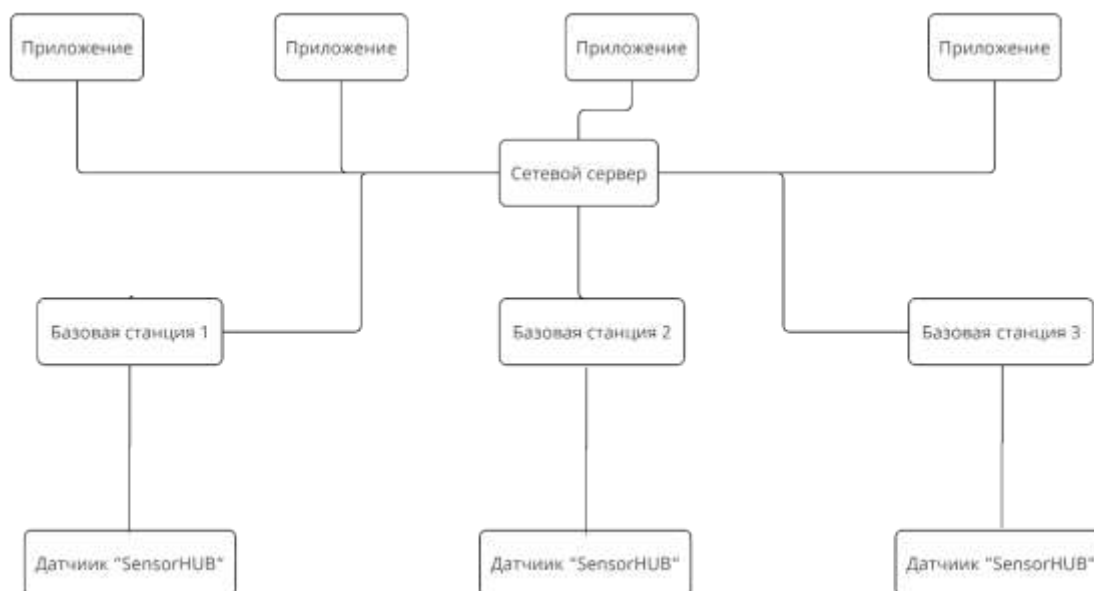


Рисунок 4 – Структурная схема LPWAN системы мониторинга окружающей среды.

Sensor HUB это универсальная платформа для построения систем сбора показателей различных датчиков.

Питание устройства может осуществляться от сетей 220В. При этом, наличие встроенного аккумулятора позволяет подключать устройство к сетям освещения, обеспечивая его непрерывную работу. Кроме этого, возможна полностью автономная работа с использованием солнечной батареи.

SensorHUB доступен в двух разных вариантах, использующих энергоэффективные технологии беспроводной связи - LoRaWAN или NB-IoT.

Устройство выполнено в корпусе с классом защиты IP67 и предназначено для работы при температурах от -40 до +85 С.

Данное устройство может включить в себе следующие датчики:

Датчик температуры

Цифровой датчик температуры с диапазоном измерений от -40 до +125С. Точность измерений в диапазоне от -10 до +85 С - 0.5С.

Корпус из нержавеющей стали со степенью защиты IP67. Датчик может устанавливаться на поверхностях или быть погружен в жидкости или почву.

Датчик вибрации

Цифровой датчик вибрации измеряет размах и СКЗ виброускорения по трем осям. Диапазон измерений до 16G/1000Hz.

Корпус датчика выполнен из нержавеющей стали. Крепление датчика на оборудовании осуществляется с помощью встроенного в корпус неодимового магнита или с помощью вибростойкого клея.

Датчик давления

Цифровой датчик давления с диапазоном измерений от 0 до 1000 кПа. Датчик можно использовать для измерения давления сухих и влажных газов и жидкостей, включая масло и воду.

Корпус датчика из нержавеющей стали с резьбовым соединением для установки.

Четырехканальный газоанализатор

Автоматический четырехканальный газоанализатор измеряет концентрацию CO, NO, NO₂, SO₂, O₃, H₂S.

Газоанализатор имеет встроенный датчик температуры и влажности воздуха и атмосферного давления.

Газоанализатор поставляется откалиброванным. Рекомендуемый период калибровки 6-12 месяцев в зависимости от условий эксплуатации. Газоанализатор внесен в реестр средств измерений, межповерочный интервал 6 месяцев.

Одноканальный газоанализатор

Автоматический одноканальный газоанализатор измеряет концентрацию CO₂ или CH₄.

Газоанализатор поставляется откалиброванным. Рекомендуемый период калибровки 6-12 месяцев в зависимости от условий эксплуатации. Газоанализатор внесен в реестр средств измерений, межповерочный интервал 6 месяцев.

Датчик уровня/расстояния

Цифровой ультразвуковой датчик уровня/расстояния с диапазоном измерений от 0 до 5 или от 0,5 до 10 метров.

Датчик может быть использован для измерения уровня жидкостей, сыпучих материалов, толщины снежного покрова и измерения расстояния.

Датчик PM_{2.5}/PM₁₀

Датчик PM_{2.5}/PM₁₀ с помощью лазерного луча измеряет массовую концентрацию частиц в воздухе.

Датчик может измерять концентрацию частиц от 2.5 до 10 мкм в концентрации до 1000 мг/м³.

Датчик температуры и влажности воздуха

Цифровой датчик температуры и влажности воздуха и атмосферного давления измеряет температуру воздуха от -40 до +85 С, относительную влажность от 0 до 100 % и атмосферное давление от 300 до 1100 гПа.

Датчик водного потенциала

Датчик для определения потенциала почвенной влаги до 200 кПа. Датчик устанавливается в почве на глубине 0.2 - 1.5 м.

Датчик объемной влажности почвы

Цифровой емкостной датчик измеряет объемную влажность почвы. Датчик устанавливается в почву и позволяет оценивать объемное содержание влаги.

Датчик влажности листьев

Датчик влажности листьев основанный на чувствительном элементе компании Decagon позволяет оценить уровень поверхностной влажности растительности.

Датчик скорости и направления ветра

Датчик скорости и направления ветра измеряет скорость ветра от 1 до 89 м/с с точностью 5% и направление ветра с шагом 1 градус и точностью 3%.

Датчик количества осадков

Датчик измеряет количество осадков до 100 мм/ч с шагом 0.2 мм и с точностью 4%.

Наличие широкополосной кодовой модуляции передаваемого сигнала обеспечивает возможность демодулировать сигналы на уровне -20 дБ по отношению к уровню шума.

Недостаток широкополосной модуляции сигнала заключается в низкой эффективности использования частотного спектра. При манипуляции сигнала такого типа существует ограничение на число устройств, которые способны работать в определенном частотном диапазоне [8].

Выбор базовой станции LoRa зависит от ряда факторов, таких как расстояние между устройствами, количество устройств, которые необходимо подключить, плотность населения в районе установки станции и другие технические параметры. Для определения наиболее подходящей базовой станции LoRa необходимо провести анализ технических характеристик различных моделей и выбрать ту, которая наилучшим образом соответствует требованиям проекта. В таблице 1 представлен сравнительный анализ базовых станций.

Таблица 1 Сравнительный анализ базовых станций

Multitech MultiConnect Conduit	Kerlink Station	Wirnet	Multitech MultiConnect Conduit
Поддержка частотных диапазонов: EU868, US915, AU915, AS923, KR920, IN865	Поддержка частотных диапазонов: EU868, US915, AU915, AS923, KR920, IN865		Поддержка сетей LoRaWAN и 3G/4G

2. Встроенный Ethernet-интерфейс и поддержка Wi-Fi и 4G LTE	Встроенный Ethernet-интерфейс и поддержка Wi-Fi и 4G LTE	Возможность подключения до 10 устройств LoRaWAN
3. Поддержка до 8 каналов связи	3. Поддержка до 16 каналов связи	Поддержка частот: 868 МГц (EU), 915 МГц (US), 923 МГц (AS)
4. Встроенный GPS-модуль для определения местоположения базовой станции	Встроенный GPS-модуль для определения местоположения базовой станции	Встроенный GPS-модуль для определения местоположения устройства
5. Поддержка до 10 000 узлов в сети LoRaWAN	Поддержка до 10 000 узлов в сети LoRaWAN	Поддержка AES-128 шифрования для обеспечения безопасности данных
Устойчивость к воздействию окружающей среды: IP67 защита от пыли и воды, рабочая температура от -40°C до +70°C.	Устойчивость к воздействию окружающей среды: IP67 защита от пыли и воды, рабочая температура от -20°C до +70°C.	Устойчивость к воздействию окружающей среды: IP67 защита от пыли и воды, рабочая температура от -20°C до +70°C.

Таким образом, была выбрана базовая станция «Multitech MultiConnect Conduit». Так как, она специально разработана для LPWAN сетей.



Рисунок 5 – Базовая станция «Multitech MultiConnect Conduit»

При выборе антенны для LoRaWAN сетей необходимо учитывать несколько факторов:

1. Частотный диапазон: LoRaWAN работает на частотах от 868 МГц до 915 МГц, поэтому необходимо выбирать антенны, которые подходят для этого диапазона.

2. Усиление: усиление антенны должно соответствовать требуемой зоне покрытия и качеству связи.

3. Направленность: в зависимости от местоположения устройств и базовых станций, можно выбирать направленные или омни-направленные антенны.

4. Размер: антенны для LoRaWAN должны быть компактными и легкими, чтобы удобно устанавливать их на устройствах.

5. Совместимость: необходимо убедиться, что выбранная антенна совместима с используемым оборудованием и протоколом связи. (таблица 2)

Таблица 2 – Сравнительный анализ антенн

	RF Solutions ANT-LORA-SMA:	RAKwireless RAK7205	Tallysman TW3972
Частотный диапазон	868 МГц и 915 МГц	868 МГц и 915 МГц	868 МГц и 915 МГц
Усиление:	2,15 дБи	3 дБи	3,5 дБи
Волновое сопротивление:	50 Ом	50 Ом	50 Ом
Разъем:	SMA	SMA	SMA
Размеры:	120 x 12 мм	110 x 22 мм	115 x 22 мм

Таким образом, была выбрана антенна «Tallysman TW3972»(рисунок 6). Она имеет усиление 6 больше всего среди аналогов и имеет средний размер.



Рисунок 6 – Антенна «Tallysman TW3972»

Таким образом были выбрана антенна «Tallysman TW3972» и базовая станция «Multitech MultiConnect Conduit»

Данная работа проводилась для создания методологии тестирования «умных» устройств, которую можно применить для тестирования «умных» устройств, а впоследствии внедрить в автоматизированную платформу тестирования устройств Интернета вещей.

Для этого были рассмотрены современные технологии, применяемые в Интернете вещей. Рассмотрены сети LPWAN – NB-IoT и LoRaWAN. На данный момент для работы с NB-IoT сетью можно использовать оператора МТС, который также предлагает свою платформу «IoT.Платформа». Сеть LoRaWAN можно развернуть самостоятельно, например, используя открытое решение ChirpStack Network Server.

Классические стандарты связи удобно применять для разворачивания локальных решений, например, для создания «умных домов». Приборы, работающие на данных технологиях, можно тестировать аналогично сетям LPWAN.

Список литературы

1. Башилов, Г. Пассивные оптические сети: возможности и перспективы [Текст] / Г. Башилов // СЮ. - 2004. - №12. С. 14 - 15.
2. Песков, С.А. Сети и телекоммуникации [Текст] / С.А. Песков, А.В. Кузин, А.Н. Волков. - Москва: Издательство, 2007. - 364 с.
3. Модернизация сетей доступа в эпоху NGN / Б. С. Гольдштейн, О.П. Орлов, А.Т. Ошев, Н.А. Соколов // Вестник связи. - 2008. - №6. - С.14.
4. Никульский, И.Е. Модель оптической сети доступа [GPON](#) / И.Е. Никульский // Вестник связи. - 2018. - №4. - С. 38 - 41.
5. Футерман, М.Ю. Топологии телекоммуникационных сетей и технология [GPON](#) / М.Ю. Футерман, А.Е. Амплиев // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. - 2016. - №5-2. - С. 241 - 245.
6. Шнепс-Шнеппе, М.А. Архитектура OSA. Parlay как реализация NGN / М.А. Шнепс-Шнеппе // Вестник связи. - 2003. - №9. - С. 22 - 23.
7. Шельгов, В.И. Siemens представляет NGN-решения. / В.И. Шельгов // Сети и системы связи. - 2006. - №3. - С. - 9.
8. Гольдштейн, Б.С. Цифровизация ГТС и построение мультисервисной сети / Б.С. Гольдштейн, О.П. Орлов, А.Т. Ошев // Вестник связи. - 2003.-№4. - С. 12 – 13.
9. Петрова, Е. [GPON: новые технологии – в жизнь](#) / Е. Петрова // Технологии и средства связи. - 2016. - №3. - С. 42 - 43.
10. Варакин, Л.Е. Распределение доходов, технологий и услуг [Текст]: - М.: МАС, 2009. - 125 с.