

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Назиржон Мукаррамович Арипов

Ташкентский государственный транспортный университет,

д.т.н., профессор

aripov1110@gmail.com

Шохрух Шухратович Камалетдинов

Ташкентский государственный транспортный университет,

докторант(DsC)

shaxr2107@gmail.com

Носиржон Собиржон ўгли Тохиров

Ташкентский государственный транспортный университет,

докторант(PhD)

nosirtohirov@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В этой статье рассмотрены этапы реализации технологии LoRaWAN для дислокации вагонов на железнодорожном транспорте. Разработана рабочая модель отслеживания вагонов, которая включает в себя передача информации о местонахождении, уровень температуры и состояния (порожний или груженный) грузовых вагонов. Приведены результаты исследований по разработке рабочей модели и составлены необходимые рекомендации по реализации технологии LoRaWAN.

Ключевые слова: LoRaWAN, сетевой сервер, шлюз, датчик, вагон, организация перевозок, железнодорожный транспорт

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование управления перевозками на железнодорожном транспорте одна из основных задач которое значительно влияет на перевозочный процесс. Для решение этой задачи можно подойти с разных сторон. В данное время стало актуальной задачей применение передовых технологий, то есть внедрение цифровых технологий.

Перевозка на железнодорожном транспорте осуществляется на вагонах. Вагоны распределяются по дороге в зависимости от потребностей грузоотправителей. Правильная организация распределения работы вагонов даст возможность снизить эксплуатационные расходы и срок доставки грузов. Для принятия правильных управленческих решений необходимо правильно оценить ситуацию. Оценка ситуации осуществляется на данный момент на основе Автоматизированной системы оперативного управления перевозками (АСОУП). В АСОУП данные собираются оперативным персоналом с помощью определенных терминалов. Чтобы увеличить достоверности и оперативности данных следующем этапе развития предлагается использовать технологию интернета вещей (IoT) для правильной организации управления парком вагонов.

IoT включает в себя несколько видов беспроводных технологий, которые используются в зависимости от их возможностей. Всего лишь нужно выбрать самый подходящий вариант, который будет учитывать специфику работы подвижных составов железнодорожного транспорта. Автором сделана выборка среди технологий интернета вещей и выбрана технология беспроводной сети LoRaWAN.

ЛИТЕРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЯ

В работах [1-4] рассматривались проблемы применения интернета вещей в умных городах. Выявлены возможности и эффективные направления внедрения. Учитывая специфику работы данной сети подробно описаны последовательное внедрение в городские инфраструктуры. Статьях [5-7] приводятся технические характеристики и архитектура построения сети LoRaWAN для разработки конкретной системы мониторинга активами. Обсуждаются вопросы применения той или иной беспроводной сети на основе результатов сравнения.

Технология сети LoRaWAN состоит из нескольких элементов. Принцип работы указан на рис.1. Рассмотрим каждый элемент по отдельности для того чтобы пояснить функцию каждую из них.

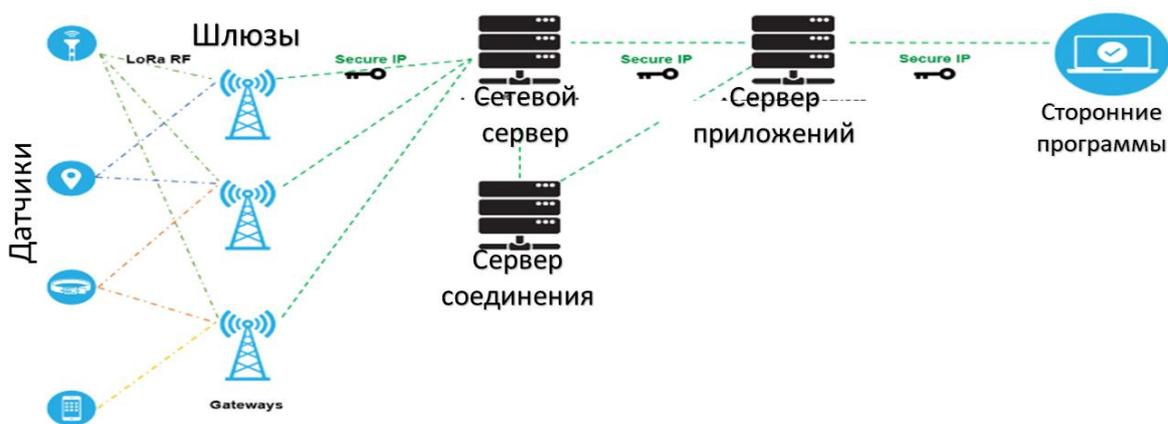


Рисунок 1. Структура сети LoRaWAN

Датчик – это устройство который беспроводным способом подключен к сети LoRaWAN через шлюзы. В основном датчики выпускаются с автономным видом питания. Они оцифровывают информации среды, где они установлены и передают закодированные данные.

На каждое устройство присваивается уникальные идентификаторы для того, чтобы обеспечивать безопасность и управлять устройством, а также для использования в публичных и частных сетях.

Шлюз – получает радиочастотные сообщения с модуляцией LoRa от любого датчика на расстоянии досягаемости и перенаправляет эти сообщения с данными на сетевой сервер LoRaWAN, который подключен через IP. Между датчиком и конкретным шлюзом нет фиксированной связи. Это значит, что один и тот же датчик может обслуживаться несколькими шлюзами. С LoRaWAN каждый пакет исходящих данных, отправленный датчиком, будет получен всеми шлюзами в пределах досягаемости. Такое расположение значительно снижает частоту ошибок пакетов (поскольку вероятность того, что хотя бы один шлюз получит сообщение, очень высока), значительно снижает нагрузку на аккумулятор для мобильных датчиков и позволяет выполнять недорогую геолокацию.

IP-трафик от шлюза к сетевому серверу может передаваться через Wi-Fi, проводной Ethernet или через сотовое соединение. Шлюзы LoRaWAN работают исключительно на физическом уровне и, по сути, являются не чем иным, как пересылкой радиосообщений LoRa. Они проверяют только целостность данных каждого входящего сообщения LoRa. Если целостность нарушена, сообщение будет пропущено. Если все верно, шлюз перенаправит его на сетевой сервер вместе с

определенными метаданными, которые включают в себя полученный уровень RSSI сообщения. Для нисходящих каналов LoRaWAN шлюз выполняет запросы на передачу, поступающие от сетевого сервера, без какой-либо интерпретации полезной нагрузки. Поскольку несколько шлюзов могут получать одно и то же сообщение LoRa от одного датчика, сетевой сервер выполняет дедупликацию данных и удаляет все копии.

Сетевой сервер LoRaWAN – управляет всей сетью, динамически контролирует сетевые параметры для адаптации системы к постоянно меняющимся условиям и устанавливает безопасные 128-битные соединения AES для передачи сквозных данных (от датчика LoRaWAN к приложению конечных пользователей в облаке), а также для управления трафиком, который проходит от датчика LoRaWAN к LNS (и обратно). Сетевой сервер обеспечивает подлинность каждого датчика в сети и целостность каждого сообщения. В то же время сетевой сервер не может видеть или получать доступ к данным приложения.

Серверы приложений – отвечают за безопасную обработку, управление и интерпретацию данных приложений датчиков. Они также генерируют все данные в нисходящем сообщении для подключенных датчиков.

Сервер соединения – управляет процессом беспроводной активации датчиков, добавляемых в сеть.

Сервер соединения составляет *запросы-соединения* по восходящей линии связи и *подтверждения-соединения* по нисходящей линии связи. Он сигнализирует сетевому серверу, какой сервер приложений должен быть подключен к конечному устройству, и выполняет вывод ключа шифрования сеанса сети и приложения. Он передает сетевой ключ сеанса устройства на сетевой сервер и ключ сеанса приложения на соответствующий сервер приложений.

Для этого сервер соединения должен содержать следующую информацию для каждого датчика, находящегося под его контролем:

- DevEUI (серийный уникальный идентификатор датчика)
- AppKey (ключ шифрования приложения)
- NwkKey (ключ сетевого шифрования)
- Идентификатор сервера приложений
- Профиль службы датчика

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе схемы работы системы LoRaWAN создадим рабочую модель системы отслеживания вагонов. Составные части рабочей модели:

1. Датчики:

- Abeeway compact tracker – GPS трекер;
- Laird Sentrius RS1 – датчик температуры;
- Netvox R718J2 – датчик контакта

2. Шлюз. UfiSpace Pico Cell Enterprise – 8-канальный шлюз, работает на частоте EU868. Настроен для работы с серверами компании Actility.

3. Сервер. ThingPark Community платформа компании Actility, которая включает в себя сетевой сервер, сервер соединения и сервер приложения.

Для создания сетевой модели потребуется выполнить следующие действия:

1. Активирование сетевого сервера

2. Подключение шлюза к сетевому серверу

3. Подключение датчиков к сетевому серверу

4. Создание подключение сторонней платформы для визуализации и анализа данных.

Активирование сетевого сервера. Активация сетевого сервера начинается с регистрации на community.thingpark.org. Нужно заполнить соответствующие формы и откроется новый аккаунт (рис.2). После регистрации можно приступить к следующим действиям.

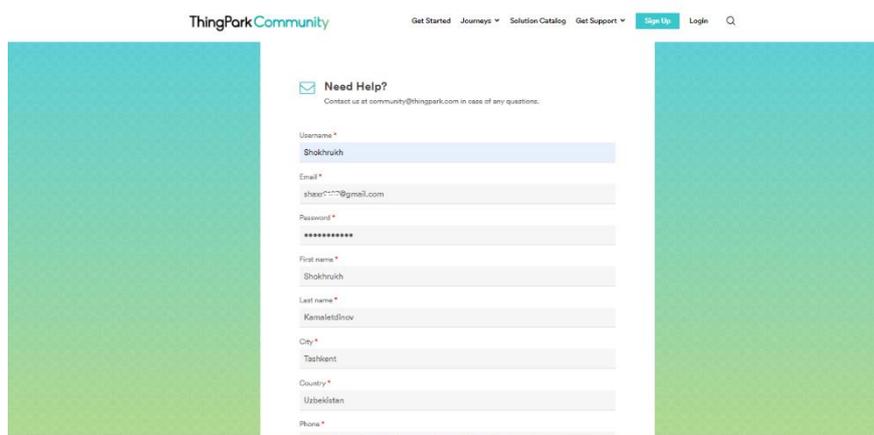


Рисунок 2. Регистрация на платформе ThingPark Community

Подключение шлюза к сетевому серверу. Для подключения шлюза потребуется выбрать название шлюза в списке моделей и заполнить все формы. Нужно отметить, что

можно подключить шлюзы с двумя способами в зависимости от типа программы, которая установлена на эти устройства. Компания Actility устанавливает свою программы под названием Long Range Relay (LRR) на определённые типы шлюзов и продаёт их на своем маркетплейсе. Следующий тип программного обеспечения для пересылке пакетов называется Basics™ Station.

В нашем случае в шлюз (UfiSpace Pico Cell Enterprise) был установлен LRR. Соответственно будем вводить данные этой программы при подключении шлюза (рис.3).

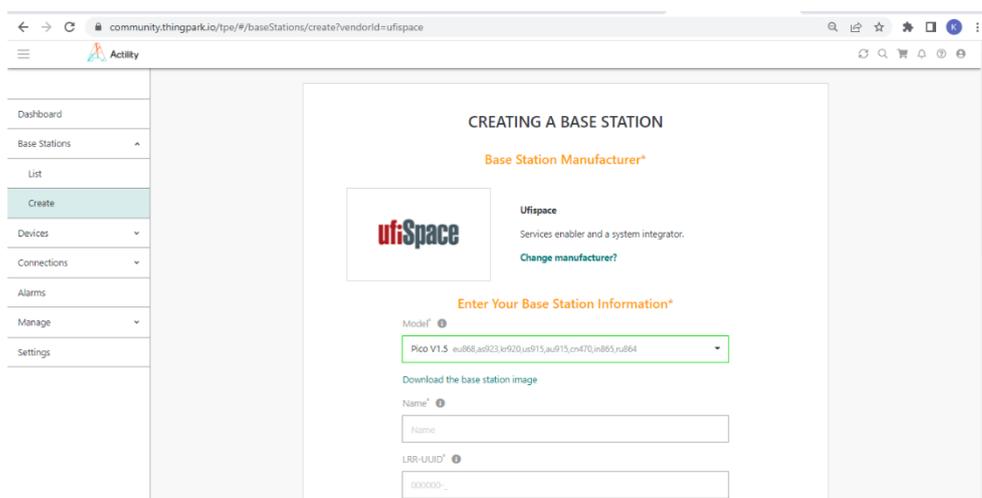
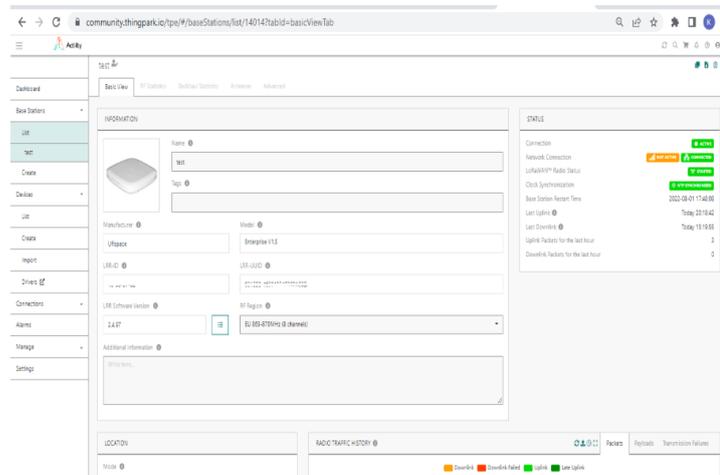


Рисунок 3. Подключение шлюза

После успешного подключения можно выбрать со списка шлюз и проверить состояние. Статус будет показывать режим “актив” и в устройстве можно увидеть по двум крайним индикаторам что связь установлена и данные передаются в сетевой сервер (рис.4).



Рисунок 4. Окно состояния шлюза



Подключение датчиков к сетевому серверу.
Подключение датчиков осуществляется, выбрав со

списка производителей либо вручную вводятся данные о датчике (рис.5). Основными идентификаторами датчиков являются:

- DevEUI 8-байтовое глобально уникальное значение, которое используется для идентификации датчика.
- JoinEUI (AppEUI) 8-байтовое глобально уникальное значение, которое используется для идентификации сервера соединения вашего датчика.
- AppKey 16-байтовое значение, которое используется для аутентификации датчика на уровне LoRaWAN.

Эти идентификаторы предоставляются производителями датчиков.

После подключения датчика появиться в списке подключенных датчиков. Для каждого датчика ведется отдельный журнал отчетов. Можно контролировать действия, отправляемые принимаемые данные по времени, содержание этих данных, состояние зарядки и так далее(рис.6).

CREATING A DEVICE

Device Manufacturer*

Abeeway

Abeeway offers a complete low-power geolocation solution for the Internet of Things, based on a flexible multi-technology location system optimized for low-power LoRaWAN communication, using GPS, com breakthrough Low Power GPS (LP-GPS) and WiFi sniffing, featuring the highest-performance tracking devices available on the market.

Change manufacturer?

Enter Your Device Information*

Model*
Compact Tracker eu868

Name*
Name

DevEUI*
00-00-00-00-00-00-00-00

Activation mode*
Over-the-Air Activation (OTAA) with local Join Server

JoinEUI (AppEUI)*
00-00-00-00-00-00-00-00

AppKey*
00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00



Рисунок 5. Подключение датчиков к платформе

	Name	DevEUI	Last Uplink	Packets (24h)	SF	PER	Alarms	Tags
	AbeeWay2	20-63-SF-01-61-00-16-24	Today 12:09:52	116	SF10	0 %		
	Compact1	20-63-SF-01-61-00-16-33	Today 12:18:40	117	SF12	0 %		
	Laird	00-25-CA-0A-00-00-05-88	2022-06-16 02:25:04	0	SF7	0 %		
	netvox	00-13-7A-10-00-01-49-DE	Today 11:59:25	20	SF7	0.02 %		
	TrackerSc9	00-16-C0-01-F0-00-5C-C9	2022-07-26 13:36:35	0	SF7	0.07 %		Container

Рисунок 6. Список подключенных датчиков

Создание подключение сторонней платформы для визуализации и анализа данных. Платформа ThingPark имеет драйверы кодеков, способные декодировать восходящие каналы связи для устройств многих популярных марок. Декодированная полезная нагрузка отображается в пользовательском интерфейсе беспроводного регистратора, а также в данных, предоставляемых соединителями серверам приложений. Драйверы кодеков также преобразуют текстовые команды нисходящего канала в двоичную полезную нагрузку. Однако долгосрочное хранение и полная обработка (т. е. визуализация, сопоставление, реагирование и т. д.) данных приложения и управление поведением приложения (например, как часто отправлять информацию о местоположении) на устройстве требуют обработки, специфичной для приложения. Это делается на выделенных серверах приложений, которые необходимо подключить к сетевому серверу.

Как сторонняя приложения для визуализации и учета данных будем использовать платформу Taago. Для этого требуется связать наш сетевой сервер с платформой Taago. Нажимается кнопка Connections, далее выбирается платформа, которая должна подключиться. Заполняется форма подключения, обменивается ключами доступа к данным (рис.7).

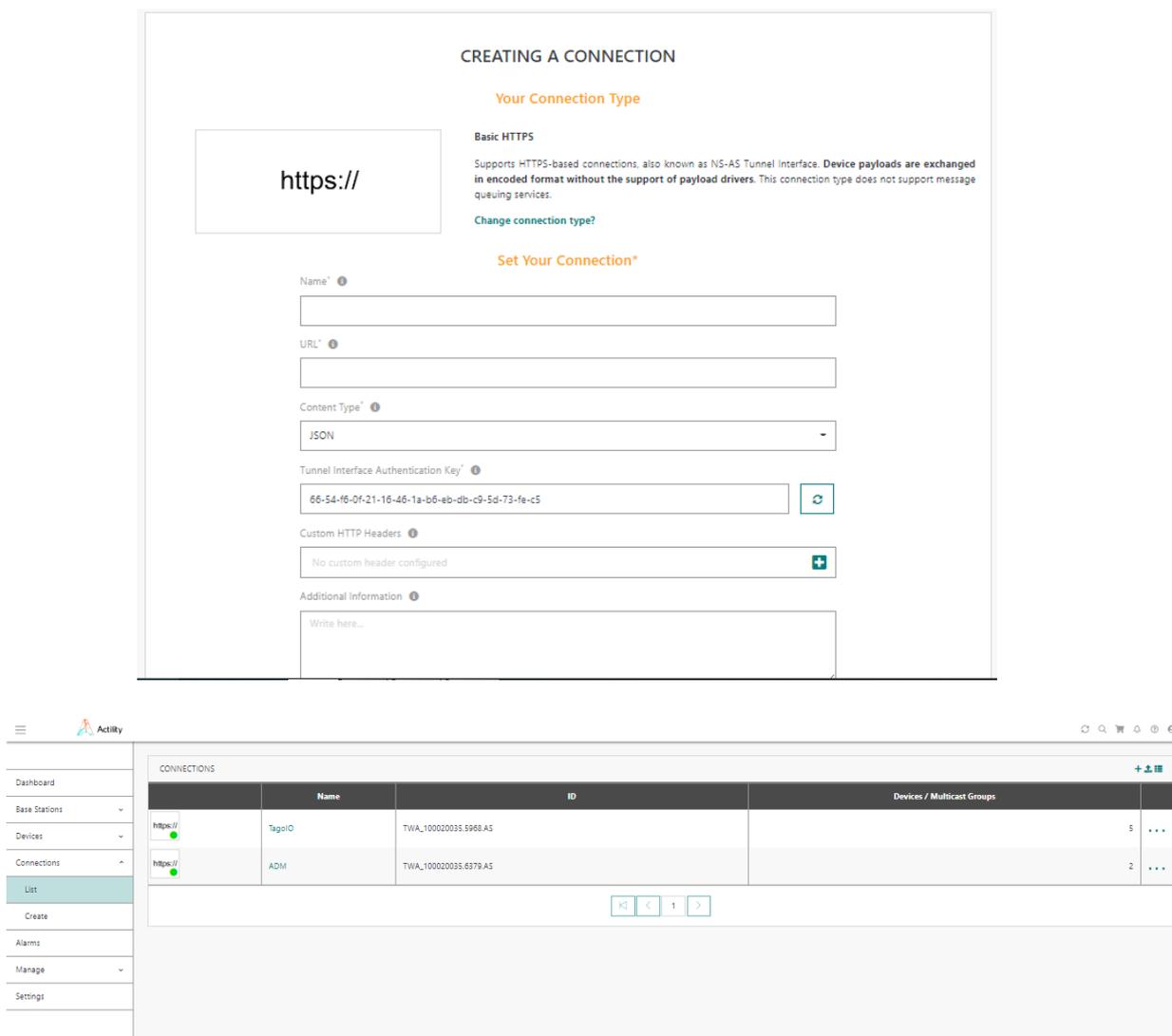


Рисунок 7. Подключение сторонних приложений

В результате появиться новое приложение в списке подключённых приложений. Декодированные данные с сервера будут отправляться в формате JSON в Таго. Платформа Таго приспособлена к работе в условиях IoT и имеет большое количество функционала. В Таго нужно подключить датчики, и система сама будет обрабатывать и показывать, учитывать и хранить информации (рис 8).

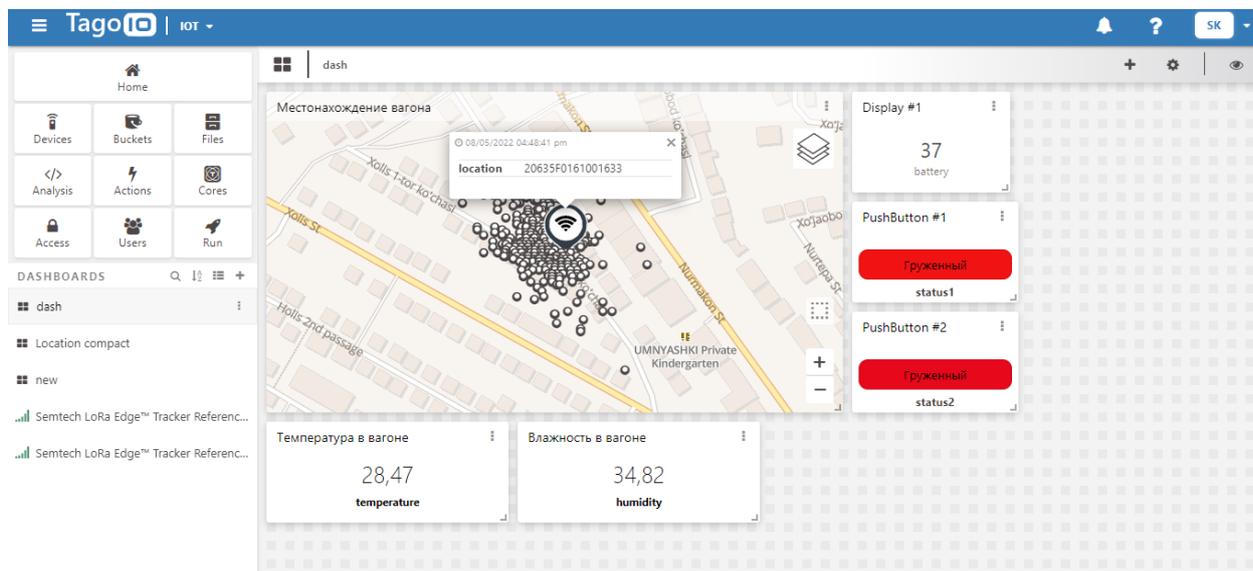


Рисунок 8. Отображение данных датчиков

ОБСУЖДЕНИЕ

Рабочая модель отслеживания вагонов предназначена для апробации системы LoRaWAN. Выявление нюансов и специфики работы для дальнейшего реализации в крупных проектах. Создание система не составило значительных трудностей. Для разработки стартовых проектов платформами LoRaWAN созданы хорошие условия для изучения и установки системы, а также ценовая политика для стартовых проектов является бесплатной.

Реализация реального проекта - системы отслеживания подвижного состава на основе представленной рабочей модели становится на несколько раз легче. Последовательность действий, нюансы платформ и оборудования будут учитываться при развертывании LoRaWAN. При построении реального проекта становится обязательным разработка отдельной платформы как сторонняя программа для сетевого сервера. Для рабочей модели была использована платформа Tago. Tago не даст возможность полностью обрабатывать информацию, может только в пределах своей функциональности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При отслеживании вагонов для оперативного управления перевозками необходимы определенные формы данных для принятия управленческих решений. Алгоритм выборки данных, хранение и отображения данных должна отдельна платформа, с которым будут работать оперативный персонал.

REFERENCES

1. J. Fox, A. Donnellan and L. Doumen, "The deployment of an IoT network infrastructure, as a localised regional service," *2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2019, pp. 319-324, doi: 10.1109/WF-IoT.2019.8767188.
2. Basford, Philip & Bulot, Florentin & Apetroaie-Cristea, Mihaela & Cox, Simon & Ossont, Steven. (2020). LoRaWAN for smart city IoT deployments: A long term evaluation. *Sensors*. 20. 648. 10.3390/s20030648.
3. G. Wibisono, S. G. Permata, A. Awaludin and P. Suhasfan, "Development of advanced metering infrastructure based on LoRaWAN in PLN Bali toward Bali Eco smart grid," *2017 Saudi Arabia Smart Grid (SASG)*, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/SASG.2017.8356496.
4. Poluektov, Dmitry & Polovov, Michail & Kharin, Petr & Štůsek, Martin & Zeman, Krystof & Masek, Pavel & Kochetkova, Irina & Hosek, Jiri & Samouylov, Konstantin. (2019). On the Performance of LoRaWAN in Smart City: End-Device Design and Communication Coverage. 10.1007/978-3-030-36614-8_2.
5. Fujdiak, Radek & Mikhaylov, Konstantin & Pospíšil, Jan & Povalac, Ales & Misurec, Jiri. (2022). Insights into the Issue of Deploying a Private LoRaWAN. *Sensors*. 22. 2042. 10.3390/s22052042.
6. Fraga-Lamas, Paula & Celaya-Echarri, Mikel & Lopez Iturri, Peio & Castedo, Luis & Azpilicueta, Leyre & Aguirre, Erik & Suárez-Albela, Manuel & Falcone, Francisco & Fernández-Caramés, Tiago. (2019). Design and Experimental Validation of a LoRaWAN Fog Computing Based Architecture for IoT Enabled Smart Campus Applications. *Sensors*. 19. 3287. 10.3390/s19153287.
7. Baldo, David & Mecocci, Alessandro & Parrino, Stefano & Peruzzi, Giacomo & Pozzebon, Alessandro. (2021). A Multi-Layer LoRaWAN Infrastructure for Smart Waste Management. *Sensors*. 21. 10.3390/s21082600.