



УДК 621.396.65

## Применение технологии интернета вещей для передачи данных от автоматического измерителя сопротивления заземления

О. Г. Евдокимова, С. М. Куценко, Б. А. Мешков

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** *Евдокимова О. Г., Куценко С. М., Мешков Б. А.* Применение технологии интернета вещей для передачи данных от автоматического измерителя сопротивления заземления // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 3. — С. 758–767. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-758-767

### Аннотация

**Цель:** Организовать оперативный автоматический контроль реального состояния одного из важных технических элементов дирекции связи и дирекции инфраструктуры компании ОАО «РЖД» — заземлителя устройств связи и сигнализации, централизации, блокировки (СЦБ). **Методы:** Сравнительный анализ технических характеристик, существующих на соответствующем рынке телекоммуникационного оборудования устройств, реализующих технологию интернета вещей, и типовых решений коммутации различных устройств с единой системой мониторинга и администрирования (ЕСМА). **Результаты:** Получено оптимальное решение для сбора и автоматической передачи информации такого параметра, как электрическое сопротивление заземлителя. Предложено техническое решение, позволяющее согласовать сбор информации посредством необходимых датчиков, применяемых при реализации технологии интернета вещей, сетевого оборудования и передачу информацию в ЕСМА посредством модульно-диагностического комплекса и передающих устройств (коммутационного оборудования и мультиплексоров) ООО «КБ Пульсар-Телеком». **Практическая значимость:** Предложено комплексное решение по сбору, передаче и контролю состояния объекта, позволяющее оперативно реагировать на изменение столь важного параметра, как сопротивление заземлителя, с целью планирования деятельности ремонтно-оперативных, восстановительных бригад и других служб предприятий дирекций связи и инфраструктуры. Проведен сравнительный анализ трех технологий интернета вещей — LoRaWAN, NB-IoT, СТРИЖ, позволяющий оценить достоинства и недостатки каждой при достижении поставленной цели.

**Ключевые слова:** Интернет вещей, единая система мониторинга и администрирования, автоматическое измерение сопротивления заземления, LoRaWAN, NB-IoT, СТРИЖ.

### Введение

Различные нормативные документы требуют поддержания определенного значения сопротивления заземления (для электробезопасности и по другим причинам) в течение всего периода эксплуатации заземляющего устройства. Изме-

рения сопротивления заземления производятся ежегодно, однако эти сведения зачастую недостаточно актуально отражают реальное состояние системы заземления объекта, которое может измениться под воздействием различных факторов.

В рамках мероприятий, во исполнение распоряжения Правительства Российской Федерации [1], проводимых в настоящее время в ОАО «РЖД», решаются задачи по техническому развитию и цифровизации. Некоторыми из направлений этой деятельности являются:

- а) разработка и внедрение перспективных технических средств и технологий;
- б) внедрение инновационных систем автоматизации и механизации станционных процессов;
- в) модернизация вычислительной и телекоммуникационной инфраструктуры, обеспечивающей гарантированный уровень доступности информационных сервисов;
- г) цифровизация работы в компании «РЖД».

Одной из задач, подлежащей решению, в рамках вышеупомянутых направлений в хозяйстве дирекции связи, дирекции инфраструктуры в области сигнализации, централизации и блокировки, может являться и автоматизация измерения сопротивления заземляющих устройств, играющих важную роль в электрической связи, автоматике и телемеханике. Для этих целей было разработано устройство для измерения сопротивления заземления, принцип работы которого подробно изложен в патенте [2].

У автоматизированной технологии измерения сопротивления существуют неавтоматизированные альтернативы:

- измерение сопротивления заземления методом амперметра-вольтметра;
- измерение методом токоизмерительных клещей.

Особенности каждого из методов измерения сопротивления заземлителей устройств автоматике и связи были подробно рассмотрены ранее [3]. Данные методы требуют непосредственного участия людей, отличаются трудоемкостью и значительными издержками при выполнении работ на дистанциях значительной протяженности.

Автоматический измеритель сопротивления заземления [2], по сравнению с другими измери-

телями сопротивления заземления [4, 5], имеет следующие преимущества:

- повышенная отказоустойчивость, обусловленная наличием электрической развязки;
- повышение экономичности непосредственно процесса измерения, поскольку устройство является автоматизированным, участие человека не требуется;
- повышение надежности работы систем измерения в результате изменения периодичности сбора данных и переходу к режиму постоянного наблюдения;
- повышение пригодности информации о значениях сопротивления заземления к цифровой обработке, хранению и передаче.

Известно, что в ОАО «РЖД» есть единая система мониторинга и администрирования (ЕСМА), которая позволяет собрать данные обо всех измерениях, выполняемых работах, в дирекции связи.

Для передачи информации от измерителя заземления в ЕСМА необходим тракт передачи. Поскольку количество измерителей, расположенных на небольшой площади, может быть значительным, а на большой территории — единичным, использование радиотракта в обеспечении функционирования системы передачи данных от автоматических измерителей сопротивления в ЕСМА является перспективным.

Технология интернета вещей и технические решения, применимые для коммутации сети в ЕСМА, позволяют минимизировать затраты на техническую реализацию процесса передачи данных от автоматических измерителей сопротивления заземления в ЕСМА

### **Сравнение технологий для передачи данных**

В качестве тракта передачи можно использовать системы, позволяющие реализовать технологию интернета вещей, такие как LoRaWAN,

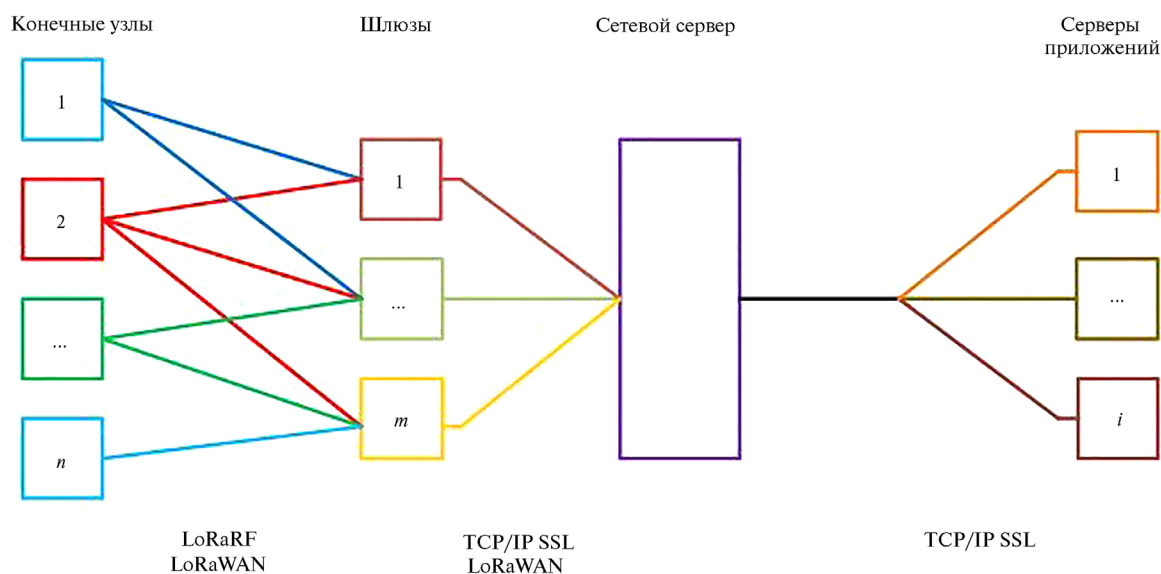


Рис. 1. Сетевая архитектура LoRaWAN

«Стриж» или NB-IoT. Рассмотрим данные технологии подробнее.

LoRa — беспроводная модуляция с расширенным спектром, которая по энергоэффективности сопоставима с частотной манипуляцией (FSK), но со значительно большей дальностью связи. Стандарт LoRa работает в сети LoRaWAN [6].

Частоты, используемые сетью, зависят от региона, где создается сеть, возможны такие варианты частотных планов, как EU868, EU433, US915, AS430. Ширина радиоканала также зависит от региона и от направления потока (вверх/вниз) [6].

Согласно данным из открытых источников [7], одним из преимуществ данной технологии является возможность ее применения на значительных расстояниях: в городских условиях около 1 км; на открытой местности до 10 км.

Напомним, что LoRaWAN — протокол связи и системной архитектуры сети интернета вещей, предварительно стандартизированный в России [8].

Протокол и сетевая архитектура наиболее сильно влияют на время работы устройств от одного элемента питания, качество связи, скорость передачи данных, безопасность и разнообразие приложений, которые могут взаимодействовать с сетью.

Данная сетевая архитектура (см. рис. 1) оптимально использует ресурсы питания, так как в сети узлы не связаны с конкретным шлюзом, а передают данные, как правило, на несколько шлюзов одновременно. Каждый шлюз, получивший пакет с конечного узла, передает его на сетевой сервер, который определяет, через какой шлюз будет происходить связь с узлом, фильтрует избыточные принятые пакеты и выполняет проверку безопасности пакетов и другие операции. Далее сетевой сервер передает данные серверам приложений для дальнейшего использования вне сети LoRaWAN по протоколу Ethernet.

Высокая пропускная способность сети LoRaWAN достигается путем использования алгоритмов, изменяющих скорость передачи данных, в зависимости от условий передачи, таких как соотношение сигнал — шум и мощность сигнала в точке приема. Скорость передачи данных определяется коэффициентом расширения ( $SF$ ), изменяющимся от 7 до 12, причем  $SF = 12$  — самый помехозащищенный режим с самой низкой скоростью, равной 0,25 кбит/с, а самый быстрый режим имеет скорость 5,5 кбит/с. Сообщение состоит из преамбулы

и информации. Скорость передачи данных  $Rb$ , в кбит/с, определяется [9] по формуле:

$$Rb = SF \frac{1}{\frac{2^{SF}}{BW}},$$

где  $BW$  — полоса пропускания канала, кГц.

Скорость генерации пакетов задается уравнением:

$$Rc = 2^{SF} Rb.$$

Смысл этого уравнения в том, что каждый бит кодируется в несколько пакетов. Время передачи одного символа  $Ts$ , в секундах, определяется по формуле ниже:

$$Ts = \frac{2^{SF}}{BW}.$$

Скорость передачи одного символа, в кбит/с, равна:

$$Rs = \frac{1}{Ts} = \frac{BW}{2^{SF}}.$$

Время передачи сообщения  $T$  — время, необходимое на передачу преамбулы и информации, определяется по формуле:

$$T = T_{\text{пре}} + T_{\text{инф}},$$

где  $T_{\text{пре}}$  — время, необходимое для передачи преамбулы;

$T_{\text{инф}}$  — время, необходимое на передачу информации.

Время, необходимое на передачу преамбулы, равно:

$$T_{\text{пре}} = n_{\text{пре}} + 4,25 \cdot Ts,$$

где  $n_{\text{пре}}$  — количество символов преамбулы, обычно при использовании LoRa 8 символов.

Время, необходимое на передачу информации, равно:

$$T_{\text{инф}} = n_{\text{инф}} Ts,$$

где  $n_{\text{инф}}$  — количество символов в информационной части сообщения.

Количество символов в информационной части сообщения может быть определено по формуле:

$$n_{\text{инф}} = 8 + \max \times \left( \text{ceil} \left( \frac{8PL - 4SF + 28 + 16CRC - 20H}{4(SF - 2DE)} \right) \times (CR + 4) \right),$$

где  $PL$  — полезная нагрузка, байт;

$CRC$  — циклическая проверка избыточности.  $CRC = 1$  — восходящий поток,  $CRC = 0$  — нисходящий поток;

$H$  — коэффициент, учитывающий содержание заголовка.  $H = 0$  — заголовок содержится,  $H = 1$  — заголовка нет;

$DE$  — переменная, введенная для оптимизации передачи данных при низкой скорости;

$CR$  — кодовая скорость — метод управления избыточностью, который имеет четыре возможных значения: 1, 2, 3 и 4. Чем больше значение, тем больше избыточность, а следовательно, и устойчивость к помехам.

Максимальная чувствительность шлюза  $-141,9$  дБм [7].

В сети LoRaWAN все конечные узлы принято делить на группы:  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

Группа  $A$  — двунаправленные устройства, у которых после передачи по восходящему каналу осуществляются два коротких сеанса приема. Прием в другое время невозможен, передача производится по необходимости конечного узла.

Группа  $B$  — двунаправленные устройства, сеансы связи у которых осуществляются подобно устройствам группы  $A$ , но с дополнительными окнами приема нисходящего потока.

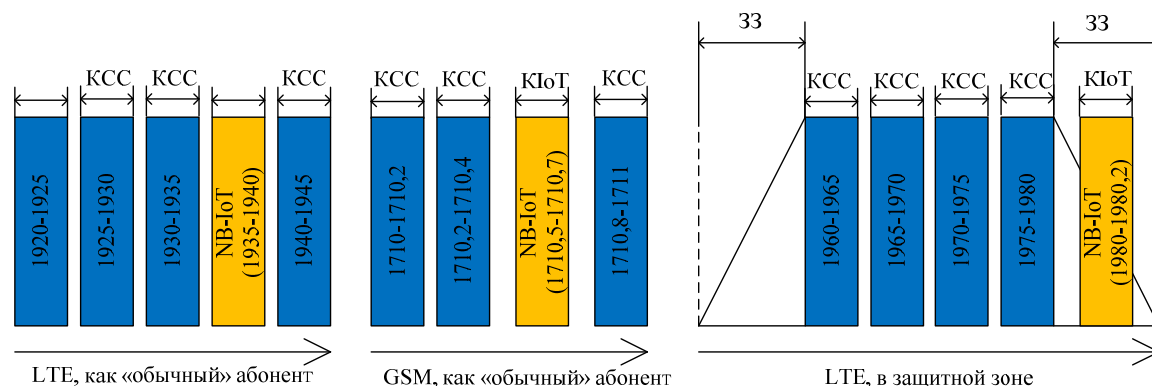


Рис. 2. Варианты подключения NB-IoT, ось абсцисс  $f$ , МГц:  
 КСС — канал сети связи, 33 — защитная зона, КIoT — канал передачи IoT

Группа *C* — двунаправленные устройства с сеансами приема нисходящих каналов, ограниченными только сеансами передачи восходящих потоков.

В настоящее время компания Semtech рекомендует использовать для построения новых сетей шлюз LoRa Corecell (сеть малого радиуса, работающая в дуплексном режиме), выполненный на плате SX1302CSSXXGW1, которая имеет следующие параметры: максимальная выходная мощность в диапазоне 868 МГц = 27 дБм ( $\approx 0,5$  Вт), максимальная чувствительность в диапазоне 868 МГц при  $SF = 12$  равна  $-140$  дБм ( $\approx 10^{-17}$  Вт), максимальная чувствительность в диапазоне 868 МГц при  $SF = 7$  равна  $-125$  дБм, ( $\approx 3,16 \cdot 10^{-16}$  Вт) [10]. Такую плату можно использовать по ее прямому назначению в малых областях с большой концентрацией датчиков, например на крупных станциях.

**Стриж** — отечественная технология интернета вещей, использующая дифференциальную бинарную фазовую манипуляцию DBPSK (Differential BPSK) [11].

Характеризуя «Стриж», можно отметить, что данная технология использует частоты, нелицензируемые в РФ, а именно диапазон 868,8 МГц для восходящего потока и диапазон 446 МГц для нисходящего. При используемой ширине канала, равной 100 Гц, возможно использование одновременно до 5000 каналов без коллизий.

Скорость передачи данных по документации составляет 50–25 600 бит/с [12], заявленная дальность передачи составляет до 50 км в зоне прямой видимости, при мощности передатчика до 25 мВт, а максимальная чувствительность базовой станции составляет  $-158$  дБм [13, 14]. В данной технологии на выходе сети, для передачи конечному пользователю сети, используется протокол Ethernet.

**NB-IoT** (Narrow Band IoT) — стандарт интернета вещей, принятый консорциумом 3GPP в 2016 году в Release 13 (LTE Advanced Pro) [15]. Данная технология стандартизирована в России [16], использует частоты стандартов сотовой связи LTE (700, 800, 900, 1450, 1600, 1800, 1900, 2100, 2600, 3500 МГц) и GSM (450, 480, 800, 900, 1800, 1900 МГц), с шириной канала 200 кГц для диапазонов LTE или с шириной 180 кГц для частот GSM.

NB-IoT может быть развернут в уже существующих сетях сотовой связи [17] как минимум тремя способами:

- подключение в сеть LTE как «обычный» абонент;
- подключение в сеть GSM как «обычный» абонент;
- подключение в сеть LTE в защитной зоне (33).

На рис. 2 наглядно представлены описанные выше способы реализации подключения данного стандарта к сети сотовой связи разных стандартов (GSM и LTE).

## Сравнительные характеристики беспроводных систем

Сопоставляемые показатели	LoRaWAN	Стриж	NB-IoT
Ширина канала, кГц	125/250	0,1	180/200
Скорость передачи данных, кбит/с	0,25–5,5	0,05–1	170 кбит/с (нисходящий поток); 250 кбит/с (восходящий поток)
Максимальная чувствительность базовой станции, дБм	–141,9	–158	–127
Дальность связи в городе до, км	1	10	3
Дальность связи на открытой местности до, км	10	50	15
Протокол шифрования	AES-128	AES-128, XTEA-256, ГОСТ Р34.12—2015	DTLS, TLS
Использование лицензируемых в РФ частот, да/нет	нет (868 МГц) да (прочие)	нет	да

NB-IoT работает в полудуплексном режиме. Максимальная чувствительность базовой станции равна –127 дБм [17]. Дальность связи в городской среде до 3 км, на сельской местности до 15 км [16]. Для защиты данных на транспортном уровне используются протоколы шифрования TLS (Transport Layer Security) и DTLS (Datagram Transport Layer Security). В данной технологии на выходе сети для передачи конечному пользователю используется протокол Ethernet [15].

Сравнительные характеристики систем представлены в таблице.

Технология LoRaWAN по сравнению с технологией «Стриж» имеет следующие преимущества:

1. Вариативность используемых частот. В некоторых районах помехи от чужих сеансов передачи могут быть настолько большими, что организация связи может быть нереализуема.

2. Скорость передачи данных, принятые базовой станцией данные актуальны.

3. Технология LoRaWAN стандартизирована в РФ.

Однако LoRaWAN уступает «Стрижу» по следующим позициям:

1. Вариативности протоколов шифрования, дающей гибкость по видам и требованиям к оборудованию.

2. Чувствительности базовой станции — принятый сигнал при передаче может испытывать большие затухания, при той же мощности передатчика.

3. Большей дальности связи — необходимо меньшее количество базовых станций для покрытия той же площади.

4. Ширине канала — позволяет использовать большее количество устройств на малой площади, но в случае с измерителями сопротивления заземления это количество избыточно.

Несмотря на то, что NB-IoT превосходит LoRaWAN по таким параметрам, как скорость передачи данных (но для случая передачи данных от датчика измерения скорость избыточна) и дальность связи, технология LoRaWAN имеет очевидные весомые преимущества по следующим параметрам:

- 1) ширина канала;
- 2) чувствительность базовой станции;
- 3) возможность использования нелицензируемого диапазона частот — не требуется лицензирование передатчиков мощностью до 25 мВт.

Вышеперечисленный анализ позволяет выбрать LoRaWAN для организации радиотракта от измерителя.

Для реализации подключения к ЕСМА лучше воспользоваться типовым решением, уже используе-



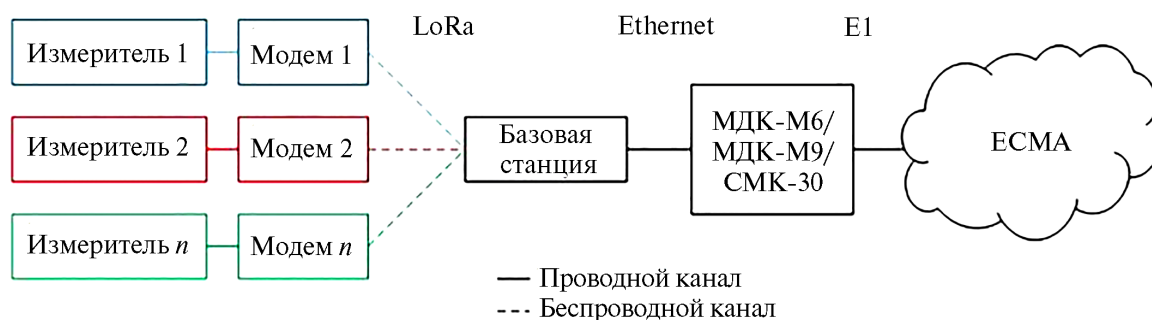


Рис. 3. Схема предполагаемой сети (на схеме E1 — цифровой поток плезисинхронной цифровой иерархии)

мым в дирекции связи ОАО «РЖД» [18–20]. Такими устройствами являются модульно-диагностические комплексы МДК и мультисервисный мультиплексор СМК-30. Производство данных устройств осуществляет ООО «КБ Пульсар-Телеком».

Среди семейства модулей МДК необходимые функции согласования ЕСМА и сторонних устройств присутствуют у моделей МДК-М4, МДК-М6 и МДК-М9.

Модули МДК-М6, МДК-М9 и мультиплексор СМК-30 имеют распространенные интерфейсы, используемые для организации сетей Ethernet, в частности RS-485.

Применение модуля МДК-М4 невозможно, поскольку он является аналого-цифровым преобразователем.

Технология интернета вещей (LoRaWAN) позволяет передать информацию с использованием протокола Ethernet, поэтому применять можно любое из устройств — МДК-М6, МДК-М9, СМК-30 — с учетом свободных портов для подключения на реальном оборудовании. В случае создания новой сети также нужно руководствоваться загруженностью предполагаемых к применению устройств.

На рис. 3 представлена схема предлагаемой системы, состоящей из автоматического измерителя сопротивления заземлителя, сети интернета вещей и продукции ООО «КБ Пульсар-Телеком».

Передача информации от модулей МДК до ЕСМА может осуществляться по протоколу

Ethernet — для этого в компании ООО «КБ Пульсар-Телеком» есть технические решения, основанные на применении различных вариантов коммутационного оборудования и мультиплексоров.

Конечный вид представления информации пользователю ЕСМА зависит от программного обеспечения и может быть выполнен в виде визуализации графиков, таблиц или других исполнений.

Автоматизация проведения измерения сопротивления заземления имеет важное практическое значение. Непрерывный мониторинг состояния заземляющего устройства существенно повысит достоверность оценки объекта и оптимизирует работу обслуживающего персонала предприятия.

В заключение отметим, что применение современных технологий и устройств для измерения сопротивления заземлителя и передачи данных в цифровую среду предприятия обеспечит проведение непрерывного мониторинга состояния заземляющих устройств, существенно повысит актуальность оценки состояния устройства и увеличит эффективность работы обслуживающего персонала при измерениях.

### Библиографический список

1. Распоряжение Правительства РФ от 19 марта 2019 года № 466-р «Долгосрочная программа развития ОАО «Российские железные дороги» до 2025 года». — URL: [https://old-doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&refererLayerId=5101&id=7017](https://old-doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&refererLayerId=5101&id=7017).

2. Патент № 2736073 Российская Федерация. Устройство для измерения сопротивления заземления / А. М. Костроминов, А. А. Костроминов, Р. О. Ложкин и др.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I». — заявл. 11.03.2020; опубл. 11.11.2020.
3. Евдокимова О. Г. Анализ методов измерения сопротивления заземлителей устройств автоматики и связи / О. Г. Евдокимова, С. Л. Шишигин, С. М. Куценко и др. // Автоматика, связь, информатика. — 2023. — № 4. — С. 27–30. — DOI: 10,34649/АТ.4.4.002.
4. Патент № 140217 Российская Федерация. Устройство для измерения сопротивления заземления / А. Ю. Пасеков, М. В. Педанов, В. Д. Толмачев; заявитель и правообладатель Научно-производственная фирма Московского института энергобезопасности и энергосбережения «Приборы Мосгосэнергонадзора»; заявл. 24.12.2013; опубл. 10.05.2014.
5. Патент № 1128195 Союз Советских Социалистических Республик. Устройство для автоматического измерения сопротивления заземления / О. А. Петров, Ю. В. Ситчихин, А. И. Сидоров; заявитель и правообладатель Челябинский политехнический институт им. Ленинского комсомола; заявл. 12.07.1983; опубл. 07.12.1984.
6. LoRaWAN™ What is it? A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™. — 2015. — 20 p.
7. ETSI TR 103 526 V1.1.1 (2018-04) TECHNICAL REPORT System Reference document (SRdoc); Technical characteristics for Low Power Wide Area Networks Chirp Spread Spectrum (LPWAN-CSS) operating in the UHF spectrum below 1 GHz.
8. 2ПНСТ 516—2021. Информационные технологии. Интернет вещей. Спецификация LORAWAN RU.
9. Сингх Д. Оценка LoRa Wan Evaluation для IoT-коммуникаций / Д. Сингх, О. Г. Алиу, М. Кречмер // Международная конференция 2018 года по достижениям в области вычислительной техники, связи и информатики (ICACCI), Бангалор, Индия, 2018. — С. 163–171. — DOI: 10.1109/ICACCI.2018.8554713.
10. Semtech. — URL: <https://www.semtech.com> (дата обращения: 20.03.2023).
11. LPWAN-технология «СТРИЖ» и беспроводной протокол XNB Описание продуктов и технологии «СТРИЖ» // «Центр специальных коммуникаций», «Современные Радио Технологии». — 19 с.
12. Павлова З. Х. Современные технологии приемо-передачи измерительной информации для организации серваторных сетей мониторинга объектов нефтегазовой отрасли / З. Х. Павлова, А. Н. Краснов, Р. Р. Балтин // Международный научно-исследовательский журнал. — 2017. — № 5. — С. 79–81. — DOI: 10.23670/IRJ.2017.59.108.
13. Роенков Д. Н. Технология «Стриж» и перспективы ее применения / Д. Н. Роенков, Н. В. Яронова // Автоматика, связь, информатика. — 2017. — № 9. — С. 9–12.
14. Стриж. — URL: <https://strij.tech/> (дата обращения: 11.03.2023).
15. LTE-Advanced Pro Introduction eMBB Technology Components in 3GPP Release 13/14. White Paper — Munich, Germany: Rohde & Schwarz, 2017. — 50 p.
16. ГОСТ Р 59026—2020. Протокол беспроводной передачи данных на основе стандарта LTE В РЕЖИМЕ NB-IoT. Основные параметры. — М.: Стандартинформ, 2020. — 65 с.
17. Nokia LTE Evolution for IoT Connectivity. — Espoo, Finland: Nokia, 2017 — 18 p.
18. Дистанционный контроль // Гудок/Куйбышевский железнодорожник. — 2012. — № 16. — С. 7.
19. Куц А. В связи властвует цифра / А. Куц // Гудок/призыв. — 2016. — № 31. — С. 7.
20. КБ ПУЛЬСАР-ТЕЛЕКОМ. — URL: <https://www.pulsar-telecom.ru/> (дата обращения: 13.03.2023).

Дата поступления: 15.06.2023

Решение о публикации: 07.08.2023

#### **Контактная информация:**

ЕВДОКИМОВА Ольга Геннадьевна — канд. техн.

наук, доц. кафедры «Электрическая связь»;

[evdokimova@pgups.ru](mailto:evdokimova@pgups.ru)

КУЦЕНКО Сергей Михайлович — канд. техн. наук,

доц., декан факультета безотрывных форм обучения;

[kutsenko@pgups.ru](mailto:kutsenko@pgups.ru)

МЕШКОВ Баир Александрович — студент группы

AP-909, кафедра «Электрическая связь»;

[bair.meshkov@yandex.ru](mailto:bair.meshkov@yandex.ru)



## Application of the Internet of Things Technology for Data Transmission from an Automatic Grounding Resistance Meter

O. G. Evdokimova, S. M. Kutsenko, B. A. Meshkov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Evdokimova O. G., Kutsenko S. M., Meshkov B. A. Application of the Internet of Things Technology for Data Transmission from an Automatic Grounding Resistance Meter // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 3, pp. 758–767. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-758-767

### Summary

**Purpose:** To organize operational automatic monitoring of the real state of one of the important technical elements of the Directorate of Communications and the Directorate of Infrastructure of JSC “Russian Railways” — of the grounding systems for communication, signaling, centralization and blockage (SCB). **Methods:** Comparative analysis of the technical characteristics of devices existing in the relevant telecommunications equipment market that implement the Internet of things technology and standard switching solutions for various devices with a unified monitoring and administration system (UMAS). **Results:** An optimal solution has been obtained for collecting and automatically transmitting information of such a parameter as the electrical resistance of the grounding device. A technical solution is proposed that allows to coordinate the collection of information by means of necessary sensors used in the implementation of the Internet of Things technology, network equipment and the transmission of information to the UMAS by means of a modular diagnostic complex and transmitting devices (switching equipment and multiplexers) provided by LLC “Pulsar-Telecom Design Bureau”. **Practical significance:** A comprehensive solution for collecting, transmitting and monitoring the condition of the object is proposed, which allows to respond promptly to changes in such an important parameter as the resistance of the grounding device in order to plan the activities of repair, operational and restoration teams and other services of enterprises of the directorates of communications and infrastructure. A comparative analysis of three technologies of the Internet of Things — LoRaWAN, NB-IoT, STRIZH, allowing to assess the advantages and disadvantages of each in achieving the goal.

**Keywords:** The Internet of things, unified monitoring and administration system, automatic measurement of grounding resistance, LoRaWAN, NB-IoT, STRIZH.

### References:

1. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 19 marta 2019 goda № 466-r “Dolgosrochnaya programma razvitiya OAO «Rossiyskie zheleznye dorogi» do 2025 goda”* [Decree of the Government of the Russian Federation dated March 19, 2019 № 466-r “Long-term development program of JSC Russian Railways until 2025”]. Available at: [https://old-doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&referrerLayerId=5101&id=7017](https://old-doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&referrerLayerId=5101&id=7017). (In Russian)
2. Kostrominov A. M., Kostrominov A. A., Lozhkin R. O. et al. *Ustroystvo dlya izmereniya soprotivleniya zazemleniya* [Device for measuring ground resistance]. Patent RF, no. 2736073. (In Russian)
3. Evdokimova O. G., Shishigin S. L., Kutsenko S. M. et al. Analiz metodov izmereniya soprotivleniya zazemlitley ustroystv avtomatiki i svyazi [Analysis of methods for measuring the resistance of ground electrodes in automation and communication devices]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics]. 2023, Iss. 4, pp. 27–30. DOI: 10,34649/AT.4.4.002. (In Russian)
4. Pasekov A. Yu., Pedanov M. V., Tolmachev V. D. *Ustroystvo dlya izmereniya soprotivleniya zazemleniya* [Device for measuring ground resistance]. Patent RF, no. 140217. (In Russian)
5. Petrov O. A., Sitchikhin Yu. V., Sidorov A. I. *Ustroystvo dlya avtomaticheskogo izmereniya soprotivleniya zazemleniya*

[Device for automatic measurement of ground resistance]. Patent RF, no. 1128195. (In Russian)

6. LoRaWAN™ What is it? A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™, 2015, 20 p.

7. ETSI TR 103 526 V1.1.1 (2018-04) TECHNICAL REPORT System Reference document (SRdoc); Technical characteristics for Low Power Wide Area Networks Chirp Spread Spectrum (LPWAN-CSS) operating in the UHF spectrum below 1 GHz.

8. 2PNST 516—2021. *Informatsionnye tekhnologii. Internet veshchey. Spetsifikatsiya LORAWAN RU* [2PNST 516-2021. Information Technology. Internet of things. Specification LORAWAN EN]. (In Russian)

9. Singkh D., Aliu O. G., Krechmer M. Otsenka LoRa Wan Evaluation dlya IoT-kommunikatsiy [LoRa Wan Evaluation for IoT Communications]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya 2018 goda po dostizheniyam v oblasti vychislitel'noy tekhniki, svyazi i informatiki (ICACCI), Bangalor, Indiya, 2018* [2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Bangalore, India]. Pp. 163–171. DOI: 10.1109/ICACCI.2018.8554713. (In Russian)

10. Semtech. Available at: <https://www.semtech.com> (accessed: March 20, 2023).

11. LPWAN-tekhnologiya “STRIZh” i besprovodnoy protokol XNB Opisaniye produktov i tekhnologii “STRIZh” [LPWAN technology “STRIZH” and wireless protocol XNB Description of products and technology “STRIZH”]. *“Tsentral'skiy tsentr spetsial'nykh kommunikatsiy”, “Sovremennyye Radio Tekhnologii”* [“Center for Special Communications”, “Modern Radio Technologies”]. 19 p. (In Russian)

12. Pavlova Z. Kh., Krasnov A. N., Baltin R. R. Sovremennyye tekhnologii priemperedachi izmeritel'noy informatsii dlya organizatsii sersornykh setey monitoringa ob'ektov neftegazovoy otrasli [Modern technologies for the transmission and reception of measurement information for the organization of sensor networks for monitoring oil and gas industry facilities]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research Journal]. 2017, Iss. 5, pp. 79–81. DOI: 10.23670/IRJ.2017.59.108. (In Russian)

13. Roenkov D. N., Yaronova N. V. Tekhnologiya “Strizh” i perspektivy ee primeneniya [Technology “Strizh” and prospects for its application]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics]. 2017, Iss. 9, pp. 9–12. (In Russian)

14. Strizh [Swift]. Available at: <https://strij.tech/> (accessed: March 11, 2023). (In Russian)

15. LTE-Advanced Pro Introduction eMBB Technology Components in 3GPP Release 13/14. White Paper — Munich, Germany: Rohde & Schwarz, 2017. 50 p.

16. GOST R 59026—2020. *Protokol besprovodnoy peredachi dannykh na osnove standartov LTE V REZHIME NB-IoT. Osnovnyye parametry* [GOST R 59026—2020. Wireless data transmission protocol based on the LTE standard IN NB-IoT MODE. Main parameters]. Moscow: Standartinform Publ., 2020, 65 p. (In Russian)

17. Nokia LTE Evolution for IoT Connectivity. Espoo, Finland: Nokia, 2017 — 18 p.

18. Distantionnyy kontrol' [Remote control]. *Gudok/Kuibyshevskiy zheleznodorozhnik* [Gudok/Kuibyshev railwayman]. 2012, Iss. 16, p. 7.

19. Kuts A. V svyazi vlastvuet tsifra [Number rules in communication]. *Gudok/prizyv* [Beep/call]. 2016, Iss. 31, p. 7. (In Russian)

20. KB PUL'SAR-TELEKOM [KB PULSAR-TELECOM]. Available at: <https://www.pulsar-telecom.ru/> (accessed: March 13, 2023). (In Russian)

Received: June 15, 2023

Accepted: August 07, 2023

#### Author's information:

Olga G. EVDOKIMOVA — PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Electrical Communication; [evdokimova@pgups.ru](mailto:evdokimova@pgups.ru)

Sergey M. KUTSENKO — PhD in Engineering, Associate Professor, Dean of the Faculty of Continuous Forms of Education; [kutsenko@pgups.ru](mailto:kutsenko@pgups.ru)

Bair A. MESHKOV — Student, Department of Electrical Communication; [bair.meshkov@yandex.ru](mailto:bair.meshkov@yandex.ru)