

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/PXLE1275>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/WNUU3720>

***У. Жалмагамбетова¹, А. Нефтісов², А. Шимпф³,
А. Кислов⁴, М. Қрыкбаева⁵**

^{1,3,4,5}Торайғыров университет, Республика Қазақстан, г. Павлодар

²Astana IT University, Республика Қазақстан, г. Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2261-2222>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4079-2025>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4203-9117>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0770-5164>

*e-mail: ultuara@mail.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В данной статье представлены различные способы передачи информации, используемые в современных беспроводных технологиях. Обзор необходим для выбора наиболее оптимальной конфигурации беспроводной автономной системы экологического мониторинга, использующего радиоканалы в труднодоступных местах без покрытия GSM. Просторы нашей страны, от знойных пустынь до суровых гор, требуют умных и автономных решений для контроля за состоянием окружающей среды и инфраструктуры. LoRa - это крайне эффективный способ передачи данных, которые можно использовать в труднодоступных местах. Датчики-помощники в национальных парках обеспечат такую связь, которая позволит им фиксировать малейшие изменения в климате и состоянии экосистемы, а значит, поможет сохранить парки для будущих поколений. Приведен вариант сопряжения устройств SX1278 LoRa и Arduino Uno, с примером фрагментов кодировки и соединения компонентов устройств для использования передачи данных экологического мониторинга. Разработанное устройство представлено в сборе без корпуса, как комплект состоящий из одного автономного передатчика и приемника подключенного к компьютеру оператора (АРМ) соответственно. На данном примере можно использовать и другие типы модулей при этом

необходимо обратиться к документации используемого оборудования для получения необходимой информации о сопряжении устройств.

Ключевые слова: экологический мониторинг, передача данных, беспроводные технологии, телеметрические сети, радиоканал

Введение

В настоящее время основная часть обрабатываемой информации передается через интернет и мобильные сети. Но есть места, где связь по традиционным каналам не доступна или бывает весьма нестабильной. Для преодоления этих трудностей разработаны различные технологии передачи данных.

Как подчеркивает Теодор Раппапорт в книге «Беспроводные коммуникации: «Одной из ключевых проблем беспроводных систем является ограниченность покрытия в горных районах, густых лесах и удалённых территориях, что в свою очередь, требует специальных решений для надежной связи» [1].

Проблема существует не только в отдаленных районах, но и в ситуациях, когда наши обычные средства связи выходят из строя как, например, во время чрезвычайных ситуациях. Во время стихийных бедствий или из-за непогоды могут выходить из строя сервера, частично средства связи, сотовые антенны и другие узлы, при этом спутниковая связь также может отсутствовать.

Для многих отраслей промышленности и сельского хозяйства в условиях отсутствия традиционной инфраструктуры связи обеспечение передачи данных является жизненной необходимостью. А как мы знаем, беспроводные технологии в этом смысле сильно продвинулись вперед. Современные беспроводные технологии, включая LoRaWAN, и даже частные спутниковые каналы связи могут использоваться для передачи телеметрической информации с большого числа устройств.

Одной из ключевых областей применения беспроводной передачи данных является мониторинг окружающей среды в труднодоступных местах. В Арктике и Антарктиде повсеместно используются автономные метеостанции, такие как система AWS (Automatic Weather Stations). Данные от таких станций о состоянии погоды передаются через спутниковые и LoRa-сети. К примеру, для вулканологических исследований на Этне, была создана сеть беспроводных датчиков, которые собирали данные о сейсмической активности, температуре и газовом составе атмосферы. Аналогичные решения, были использованы для обустройства сети датчиков в гляциологических исследованиях планетарных ледников. Искусственно созданные датчики, собрав достаточное количество научных данных, передавали информацию для анализа из арктических условий через

дроны-ретрансляторы в спутниковую сеть [2]. Аналогично обеспечивают беспроводную передачу данных в горах и на море, в условиях массовых бедствий. Отметим, что поисково-спасательные операции на суше и на море также требуют наличия связи. В горных странах, таких как Австрия работает система AlpSAR, с использованием в качестве основного оборудования устройства по технологии LoRaWAN применяемых на высоких перевалах. Между этими пунктами и альпинистами, находящимися в опасности, передача информации производится через немногочисленные и мощные радиостанции, которые работают на очень низких частотах [3].

В условиях массовых бедствий обычно применяют временные Mesh-сети. В 2017 году после урагана Мария в Пуэрто-Рико на силиконовых аэростатах (проект Loon), которые не могли подняться высоко в небо, были развернуты радиомаяки. Эти маяки со связью Mesh обеспечили автономную связь между людьми и спасателями [4]. Для морских спасательных операций применяются автономные аварийные радиомаяки (EPIRB).

В области промышленного контроля и сельском хозяйстве беспроводные системы передачи данных позволяют автоматизировать процессы контроля и управления ресурсами. В Австралии система, работающая на основе LoRaWAN предназначенная для мониторинга состояния почвы, обеспечивает оптимизацию ирригации. Один из таких проектов был запущен в 2019 году компанией National Narrowband Network Company (NNNCo) совместно с Goanna Ag [5].

Энергоэффективная система под названием WISDOM (Wireless Irrigation System for Development in the Outback in Marsupial) управляет ресурсами с низким потреблением электроэнергии, автоматизируя ирригацию, что дает значительный экономический эффект. Решения, подобные описанным выше, адаптированы и используются в транспортной сфере и инфраструктурных проектах.

В системах высокоскоростного транспорта, таких как Hyperloop, беспроводные датчики передают данные о давлении и температуре в герметичных туннелях. В Японии развернута сеть LoRaWAN, позволяющая мониторить вибрации и состояние мостов. Эти данные помогают, во-первых, предсказывать будущие проблемы с конструкциями и во-вторых, обеспечивать безопасность людей, когда мосты начинают сильно вибрировать, как например, перед землетрясением [6].

Современные беспроводные технологии позволяют с высокой эффективностью решать задачи, связанные с мониторингом и передачей данных в случаях, когда полностью отсутствуют традиционные сетевые коммуникации. LoRaWAN, спутниковые системы и Mesh-сети являются хорошей альтернативой и обеспечивают надёжность связи в самых

разных промышленных средах, на природных объектах и в ходе аварийно-спасательных операций.

Материалы и методы

Современные беспроводные технологии открывают новые возможности для передачи данных в условиях полного отсутствия традиционной связи. Наиболее перспективными из современных решений являются сотовые сети, системы, работающие с использованием технологий спектрального расширения, и энергоэффективные способы связи на больших расстояниях.

Ключевым подходом является Mesh-сеть – децентрализованная архитектура, в которой каждый узел способен передавать данные не только для себя, но и ретранслировать их для других устройств. Эта структура позволяет обеспечить высокую отказоустойчивость: если один из узлов выходит из строя, данные автоматически перенаправляются через альтернативные маршруты. Это делает Mesh-технологии незаменимыми в системах мониторинга, спасательных операциях и автономных устройствах в сложных условиях.

Сеть Mesh формируется по принципу динамической маршрутизации: каждый узел сети анализирует доступные для передачи пути и выбирает самый оптимальный маршрут, что позволяет поддерживать связь даже при изменении топологии сети [7].

Но в малонаселённых районах эффективность этих сетей оказывается недостаточной. Причина кроется в том, что сеть из узлов (простых, или более сложных, типа антенн) становится ненадёжной, если её плотность ниже определённого минимума.

Использование технологии Chirp Spread Spectrum (CSS), представляющей собой способ частотного рассеяния, в котором используется линейно изменяемая частота, позволяет значительно увеличить дальность и помехозащищённость связи. CSS, в отличие от традиционных способов, где используются фиксированные частоты для передачи данных, встраивает в приемлемый по мощности сигнал большую информацию за счет изменения частоты во времени. На этом принципе и строится архитектура LoRa, одной из самых надёжных для использования в различных средах.

Технологии LPWAN – Low Power Wide Area Network, к которым относится LoRa, рассчитаны на то, чтобы передавать недалеко и слабо, на это уходит очень мало энергии, и поэтому эти технологии отлично подходят для работы с автономными сенсорными системами, которые располагаться в местах, где не всегда есть возможность подвести укрытие. LoRa – это универсальная технология, которая может работать как в режиме LoRa P2P (точка-точка), обеспечивая связь между двумя устройствами, так и в формате LoRaWAN, когда данные передаются через шлюзы на централизованные

сервера. LoRa использует частотную модуляцию, для передачи данных. Элементы передачи данных не меняются в своих параметрах; они меняются по частоте в пределах довольно широкого диапазона для интеграции в различные топологии и методы передачи данных [8]. К преимуществам LoRa можно отнести работу с низкоскоростными, но высокомасштабными сетями, при этом передача не требует большой мощности и обеспечивает прекрасную работу даже в довольно «шумном» радиочастотном пространстве и при наличии, казалось бы, «слабых» сигналов транслирует их на большие расстояния.

Можно сказать, что LoRa – одно из наиболее сбалансированных решений для передачи данных в условиях отсутствия покрытия сети. У неё хорошее сочетание низкого энергопотребления, дальности, устойчивости к помехам и возможности развёртывания как простых P2P-сетей, так и многоузловых систем. Эти свойства делают LoRa практически незаменимой в системах, требующих надёжной связи.

Результаты и обсуждение

Для организации беспроводной передачи данных в условиях полного отсутствия традиционного сетевого покрытия используются энергоэффективные средства [9]. Для автономных систем мониторинга оптимальной является комбинация микроконтроллера, радиомодуля LoRa, согласованной антенны, позволяющая обеспечивать стабильную работу даже в сложных условиях.



Рисунок 1 – Arduino Uno

В качестве управляющего устройства используется микроконтроллерная плата Arduino Uno, представленная на рисунке 1, построенная на базе ATmega328P. Этот 8-разрядный микроконтроллер с тактовой частотой 16 МГц, 32 КБ флэш-памяти и 2 КБ ОЗУ обладает достаточной вычислительной мощностью для обработки данных с периферийных устройств и организации их передачи по радиоканалу. Arduino Uno имеет огромный набор библиотек, что значительно упрощает разработку программного обеспечения, а его низкое энергопотребление позволяет применять платформу в автономных системах с ограниченными ресурсами питания [10].

Передача данных реализуемая с использованием радиомодуля LoRa SX1278, изображен на рисунке 2, работает в диапазоне 433 МГц. Этот модуль использует метод спектрального расширения (CSS), с высокой помехоустойчивостью и возможностью связи на значительных расстояниях, вплоть до 10 километров в условиях открытой местности. Чувствительность приёмника достигает -148 дБм, что позволяет уверенно принимать слабые сигналы, а гибкость настройки скорости передачи данных позволяет балансировать между дальностью связи и пропускной способностью канала. В автономных системах используется режим LoRa P2P (Point-to-Point), позволяющий обходиться без сетевой инфраструктуры и централизованных шлюзов.



Рисунок 2 – Радиомодуль LoRa

Для обеспечения надёжной связи применяется антенна с резонансной частотой 433 МГц и коэффициентом усиления до 5 dBi. Оптимальное согласование антенны с выходным сопротивлением модуля (50 Ом) минимизирует потери мощности и повышает эффективность радиоканала, что особенно критично в системах с низким энергопотреблением.

Программное обеспечение системы реализовано на базе библиотек, обеспечивающих удобное взаимодействие с аппаратными модулями. Для

работы с LoRa SX1278 используется библиотека RadioHead, предоставляющая гибкие механизмы настройки параметров связи.

Оптимизация энергопотребления достигается за счёт перевода микроконтроллера в режим пониженного энергопотребления между сеансами связи, что значительно увеличивает время автономной работы системы.

Таблица 1 – Фрагмента кода для LoRa-радиосвязи на языке Arduino.

Код для приема	Код для отправки
<pre>#include <SPI.h> #include <LoRa.h> void setup() { LoRa.begin(433E6); Serial.begin(9600); void loop() {int packetSize = LoRa.parse- Packet(); if (packetSize) { String message = LoRa. readString(); Serial.println(message);}}</pre>	<pre>#include <SPI.h> #include <LoRa.h> void setup() {LoRa.begin(433E6);} void loop() { LoRa.beginPacket(); LoRa.print(«Проверка связи»); LoRa.endPacket(); delay(1000);}</pre>

Схема подключения всех элементов представлен на рисунке 3.

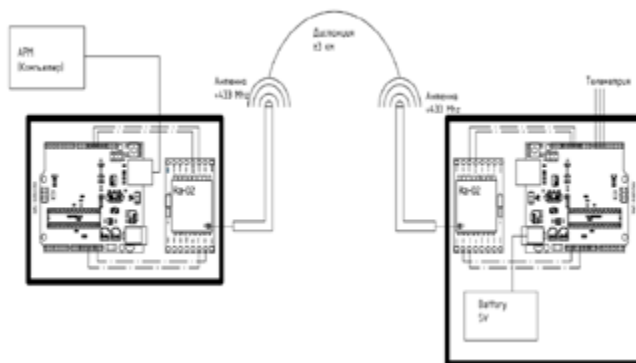


Рисунок 3 – Принципиальная схема системы передачи данных

Таблица 1 – Подключения компонентов модуля SX1278 LoRa к Arduino Uno

RA-02	Arduino
3.3V	3.3V
GND	GND
MISO	12
MOSI	11
SCK	13
NSS	10
RST	9
DIO0	2

Демонстрация работы кода в IDE Arduino представлена на рисунке 4.

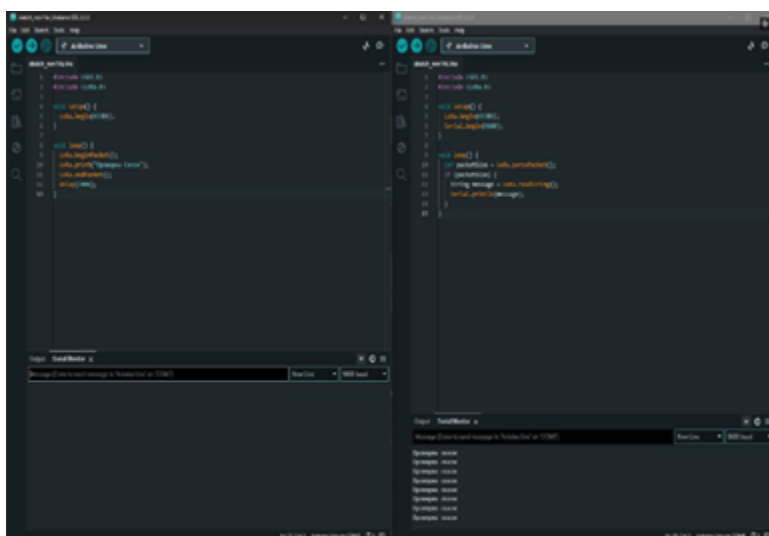


Рисунок 4 – IDE Arduino

На рисунке 5 представлены в сборе без корпуса комплект состоящий из одного автономного передатчика и приемника подключенного к компьютеру оператора (АРМ) соответственно.



Рисунок 5 – Комплект для передачи данных

Информация о финансировании

Исследования выполнены при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программы ИРН BR21882258 «Разработка комплекса интеллектуальных информационно-коммуникационных систем для экологического мониторинга эмиссий в окружающую среду для принятия решения в концепте углеродной нейтральности».

Выводы

В статье представлены конкретные шаги, которые могут различаться в зависимости от модели модуля, в нашем случае SX1278 LoRa и Arduino Uno, используемые для передачи данных экологического мониторинга.

Преимущества представленной конфигурации устройства для приема-передачи информации – это низкое энергопотребление, дальность связи и высокая помехоустойчивость, что позволяет создавать надежные телеметрические сети, даже в самых труднодоступных уголках. Развертывание сети, с использованием указанного оборудования при низких затратах, довольно несложное мероприятие, но самый главный плюс - для работы не нужны сотовые операторы. Все это делает описанную конфигурацию идеальным кандидатом для решения проблемы отсутствия связи в труднодоступных местах.

При использовании других модулей рекомендуется обратиться к документации используемого оборудования для получения необходимой информации о сопряжении устройств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Rappaport, T. S.** Wireless Communications. – Prentice Hall; First Edition, Rappaport, Theodore S., 1996, 641c

2 <https://www.thethingsnetwork.org/article/the-first-lorawan-gateway-running-in-antarctica>

3 **Marshall, H.** «AlpSAR 2012-13, a Field Experiment on Snow Observations and Parameter Retrievals with Ku- and X-Band Radar». ESA Living Planet Symposium 2013.

4 **William, D. P.** LoRa Technology in Flying Ad Hoc Networks: A Survey of Challenges and Open Issues Sensors 2023, 23, 2403. <https://doi.org/10.3390/s23052403>

5 <https://www.goannaag.com.au/media-releases-investors/new-iot-network-brings-next-generation-irrigation-solutions>

6 <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/articles/785710/>

7 **Perry, L.** Internet of Things for Architects: Architecting IoT solutions by implementing sensors, communication infrastructure, edge computing, analytics, and security. – Packt Publishing, Perry Lea, 2018, 524c.

8 **Сабко, А., Грудковский, Н.** Технология LORA, 53-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2017 г.

9 **Кириченко, Л., Жалмагамбетова, У.** Методы определения эмиссий от основных стационарных источников загрязнений // Научный журнал «Вестник Торайгыров университета», энергетическая серия. – 2024 – № 3. – С. 152–163 <https://doi.org/10.48081/HRWJ4394>

10 **Zhalmagambetova, U., Radelyuk, I.** Development of an automatic monitoring system based on the open architecture concept // Научный журнал «Вестник Торайгыров университета», энергетическая серия. – 2024 – № 2 – С. 78–89 <https://doi.org/10.48081/BMOM3785>

REFERENCES

1 **Rappaport, T. S.** Wireless Communications. - Prentice Hall; First Edition, Rappaport, Theodore S., 1996, 641c

2 <https://www.thethingsnetwork.org/article/the-first-lorawan-gateway-running-in-antarctica>

3 **Marshall, H.** «AlpSAR 2012-13, a Field Experiment on Snow Observations and Parameter Retrievals with Ku- and X-Band Radar». ESA Living Planet Symposium 2013.

4 **William, D. P.** LoRa Technology in Flying Ad Hoc Networks: A Survey of Challenges and Open Issues Sensors 2023, 23, 2403. <https://doi.org/10.3390/s23052403>

5 <https://www.goannaag.com.au/media-releases-investors/new-iot-network-brings-next-generation-irrigation-solutions>

6 <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/articles/785710/>

7 **Perry, L.** Internet of Things for Architects: Architecting IoT solutions by implementing sensors, communication infrastructure, edge computing, analytics, and security. - Packt Publishing, Perry Lea, 2018, 524с.

8 **Sabko, A.** Hrudkovskij, N. Technology LORA [Technology LORA] 53rd Scientific Conference of Graduate, Master's Degree and Undergraduate Students of BSUIR, 2017.

9 **Kirichenko, L., Zhalmagambetova, U.** Metody opredeleniya emissij ot osnovnyh stacionarnyh istochnikov zagryaznenij [Methods for determining emissions from major stationary pollution sources]// Nauchnyj zhurnal «Vestnik Torajgyrov universiteta», energeticheskaya seriya. – 2024 – № 3. – С. 152–163 <https://doi.org/10.48081/HRWJ4394>

10 **Zhalmagambetova, U., Radelyuk, I.** Development of an automatic monitoring system based on the open architecture concept // Nauchnyj zhurnal «Vestnik Torajgyrov universiteta», energeticheskaya seriya. – 2024 – № 2 – С. 78-89 <https://doi.org/10.48081/BMOM3785>

Поступило в редакцию 12.02.25

Поступило с исправлениями 13.02.25

Принято в печать 10.03.25

*У. Жалмагамбетова¹, А. Нефтисов², А. Шимпф³, А. Кислов⁴,
М. Крыкбаева⁵

^{1,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

12.02.25 ж. баспаға түсті.

13.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

10.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ ҮШІН АҚПАРАТ БЕРУ ЖҮЙЕЛЕРІН ЖОБАЛАУ

Бұл мақалада заманауи сымсыз технологияларда қолданылатын ақпаратты берудің әртүрлі әдістері келтірілген. Шолу GSM қамтуы жоқ жету қиын жерлерде радиоарналарды пайдаланатын сымсыз,

дербес экологиялық бақылау жүйесінің ең оңтайлы конфигурациясын таңдау үшін қажет. Біздің елдің кеңдігі, шөлді шөлдерден қатал тауларға дейін, қоршаған орта мен инфрақұрылымның жай-күйін бақылау үшін ақылды және дербес шешімдерді қажет етеді. LoRa-жету қиын жерлерде қолдануға болатын деректерді берудің өте тиімді әдісі. Ұлттық саябақтардағы көмекші датчиктер климат пен экожүйе жағдайындағы шамалы өзгерістерді түсіруге мүмкіндік беретін байланысты қамтамасыз етеді, бұл саябақтарды болашақ ұрпақ үшін сақтауға көмектеседі. SX1278 lora және Arduino Uno құрылғыларын жұптастыру опциясы келтірілген, мысалы, қоршаған ортаны бақылау деректерін пайдалану үшін құрылғы компоненттерін кодтау және қосу фрагменттері Әзірленген құрылғы корпуссыз жинақта ұсынылған, сәйкесінше бір дербес таратқыш пен компьютерге қосылған оператордың (АЖО) қабылдағышынан тұратын жиынтық. Бұл мысалда модульдердің басқа түрлерін қолдануға болады және құрылғылардың жұптасуы туралы қажетті ақпаратты алу үшін қолданылатын жабдықтың құжаттамасына жүгіну қажет.

Кілтті сөздер: экологиялық мониторинг, деректерді беру, сымсыз технологиялар, телеметриялық желілер, радиоарна.

*U. Zhalmagambetova¹, A. Neftisov², A. Shimpf³, A. Kislov⁴,
M. Krykbayeva⁵

^{1,3,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Astana

Received 12.02.25

Received in revised form 13.02.25

Accepted for publication 10.03.25

DESIGNING INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS FOR AUTOMATED ENVIRONMENTAL MONITORING

This article presents various ways of transmitting information used in modern wireless technologies. The review is necessary to select the most optimal configuration of a wireless autonomous environmental monitoring system using radio channels in hard-to-reach places without GSM coverage. The vast expanses of our country, from sultry deserts to harsh mountains, require smart and autonomous solutions to monitor the state of the environment and infrastructure. LoRa is an extremely efficient

way to transfer data that can be used in hard-to-reach places. Assistant sensors in national parks will provide a link that will allow them to detect the slightest changes in climate and ecosystem conditions, which means it will help preserve parks for future generations. A variant of pairing the SX1278 LoRa and Arduino Uno devices is given, with an example of encoding fragments and connecting device components to use environmental monitoring data transmission. The developed device is presented assembled without a housing, as a set consisting of one autonomous transmitter and receiver connected to an operator's computer (APM), respectively. In this example, you can use other types of modules, but you need to refer to the documentation of the equipment used to obtain the necessary information about device pairing.

Keywords: environmental monitoring, data transmission, wireless technologies, telemetry networks, radiochannel.

Теруге 10.03.2025 ж. жіберілді. Басуға 28.03.2025 ж. қол қойылды.
Электронды баспа
29.9 Мб RAM
Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Тапсырыс №4358

Сдано в набор 10.03.2025 г. Подписано в печать 28.03.2025 г.
Электронное издание
29.9 Мб RAM
Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Заказ № 4358

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
E-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik-energy.tou.edu.kz