

**АРХИТЕКТУРА И РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УДАЛЁННОГО  
МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЫ НА БАЗЕ LORAWAN**

**Абсаметов Байрам Бекбосинович,**

Ассистенты Каракалпакского государственного университета имени Бердаха

*E-mail:* [b.absametov@gmail.com](mailto:b.absametov@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0009-4062-6917>

**Калбаев Алламберген Маркабаевич,**

Ассистенты Каракалпакского государственного университета имени Бердаха

*E-mail:* [allambergenkabayev1@gmail.com](mailto:allambergenkabayev1@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0007-0903-0643>

**Кудайназаров Мухаммед Садык улы,**

Ассистенты Каракалпакского государственного университета имени Бердаха

*E-mail:* [m.qudaynazarov@gmail.com](mailto:m.qudaynazarov@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-4619-7729>

**Мадаминов Улугбек Бахадирович**

студент Каракалпакского государственного университета имени Бердаха

*E-mail:* [maadaminovv@gmail.com](mailto:maadaminovv@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0006-8832-5089>

Нукус, Узбекистан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19429608>

***Annotatsiya:** Ushbu ishda dala sharoitlari va uzoq muddatli avtonom ishlashga mo'ljallangan tuproq parametrlarini monitoring qilishning taqsimlangan tizimi arxitekturasi keltirilgan. Yechim LoRaWAN texnologiyasi asosida qurilgan bo'lib, Milesight EM500-SMTC tuproq datchiklari, Milesight UG65 yarim sanoat shlyuzi hamda wan.nmtu.uz veb-ilovasida telemetriyani qabul qilish, sifat nazorati, saqlash va vizualizatsiya qilish uchun server qismini o'z ichiga oladi. Tizim arxitekturasi IDEF0 funksional modeli (kontekst va dekompozitsiya) asosida formalashtirilgan bo'lib, bu sensor tarmog'ini kengaytirish va keyinchalik analitik modullarni integratsiya qilishni soddalashtiradi.*

***Kalit so'zlar:** LoRaWAN, IoT, tuproq monitoringi, harorat, namlik, elektr o'tkazuvchanlik, EM500-SMTC, UG65, veb-platforma, IDEF0.*

***Abstract:** This paper presents the architecture of a distributed soil parameter monitoring system designed for field conditions and long-term autonomous operation. The solution is based on LoRaWAN technology and includes Milesight EM500-SMTC soil sensors, a Milesight UG65*

**“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)**

*semi-industrial gateway, and a server-side component for telemetry reception, quality control, storage, and visualization in the wan.nmtu.uz web application. The system architecture is formalized using the IDEF0 functional model, which simplifies sensor network scaling and the subsequent integration of analytical modules.*

**Keywords:** *LoRaWAN, IoT, soil monitoring, temperature, moisture, electrical conductivity, EM500-SMTC, UG65, web platform, IDEF0.*

**Аннотация.** *В работе представлена архитектура распределённой системы мониторинга параметров почвы, ориентированной на полевые условия и длительную автономную работу. Решение построено на базе технологии LoRaWAN и включает почвенные датчики Milesight EM500-SMTC, полупромышленный шлюз Milesight UG65 и серверную часть для приёма, контроля качества, хранения и визуализации телеметрии в веб-приложении wan.nmtu.uz. Архитектура системы формализована функциональной моделью IDEF0, что упрощает масштабирование сети датчиков и последующую интеграцию аналитических модулей.*

**Ключевые слова:** *LoRaWAN, IoT, мониторинг почвы, температура, влажность, электропроводность, EM500-SMTC, UG65, веб-платформа, IDEF0.*

Для задач мониторинга земель и агро-экологической оценки требуется регулярное получение параметров почвы в пространстве и во времени, поскольку почвенные характеристики обладают выраженной сезонной и суточной изменчивостью и существенно различаются по участкам. Температура и влажность определяют водно-тепловой режим, а электропроводность (EC) выступает индикатором минерализации порового раствора и может использоваться для оперативной оценки изменений, связанных с увлажнением и/или засолением. Сбор таких данных вручную трудоёмок, нерегулярен и плохо масштабируется, что снижает репрезентативность наблюдений. В полевых условиях измерительная сеть должна функционировать автономно: важны энергоэффективность, устойчивость к потерям пакетов, контроль статуса узлов и возможность оперативной диагностики. LPWAN-подходы, в частности LoRaWAN, позволяют передавать телеметрию малых объёмов на большие расстояния при низком энергопотреблении, обеспечивая компромисс между дальностью, временем автономной работы и стоимостью развёртывания [1, 5].

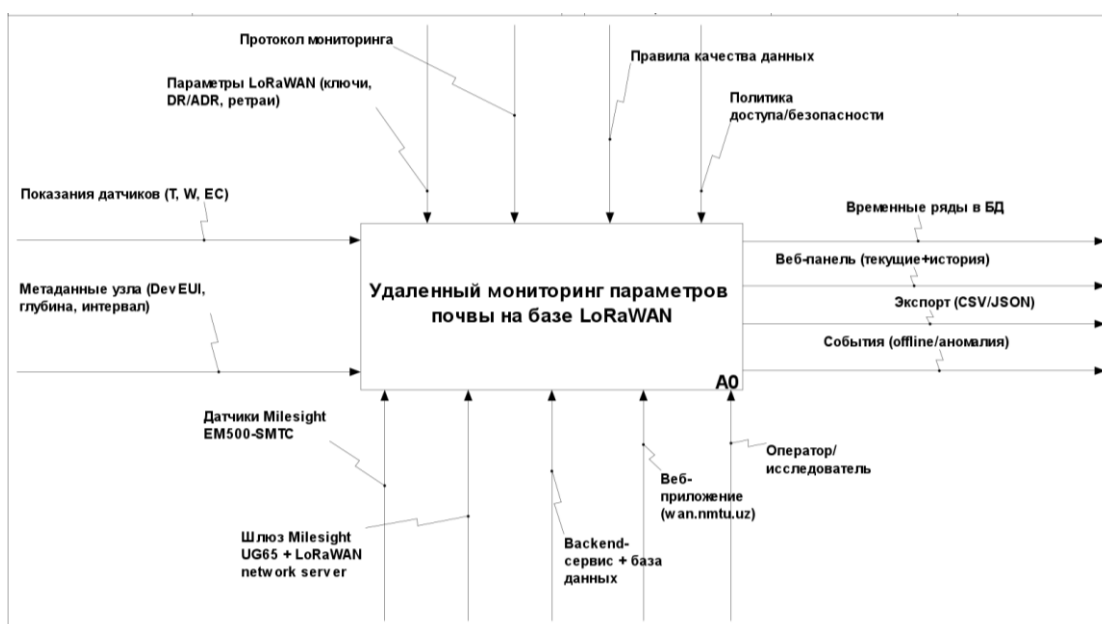
Цель работы - разработка и апробация архитектуры аппаратно-программной системы для удалённого мониторинга температуры, влажности и электропроводности почвы с использованием LoRaWAN-инфраструктуры и веб-платформы накопления

**“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to’plami. I son (2026-yil, 1-aprel)**

данных. В рамках цели решены задачи проектирования цепочки «почвенные датчики - LoRaWAN-шлюз/сетевой сервер - backend-сервис - база данных - веб-интерфейс», а также определены потоки данных и точки контроля качества: валидация диапазонов, обработка пропусков и выбросов. Практическая апробация включает настройку узлов мониторинга, приём телеметрии, формирование временных рядов и их визуализацию с возможностью экспорта данных.

Архитектура системы формализована в нотации IDEF0, что позволяет явно зафиксировать границы системы, роли подсистем и потоки данных на всех этапах обработки телеметрии. На контекстной диаграмме (Рисунок 1) уровня А-0 представлены входы в виде измеряемых параметров почвы и метаданных узлов, управляющие воздействия в виде регламента мониторинга, настроек LoRaWAN, правил контроля качества и политики доступа, выходы в виде временных рядов в базе данных, веб-представления и экспорта, а также механизмы - датчики, шлюз/сетевой сервер, backend и веб-приложение. Декомпозиция А0 (Рисунок 2) детализирует обработку данных как последовательность функций: считывание измерений, передачу телеметрии по LoRaWAN, приём пакетов и маршрутизацию, нормализацию и контроль качества, долговременное хранение временных рядов и представление данных пользователю [4].

Измерительная подсистема представлена почвенными датчиками Milesight EM500-SMTC, выполняющими измерение температуры, влажности и электропроводности в заданной точке наблюдений.



**“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)**

Рисунок 1. Контекстная диаграмма IDEF0 (уровень A-0) системы мониторинга почвы на базе LoRaWAN.

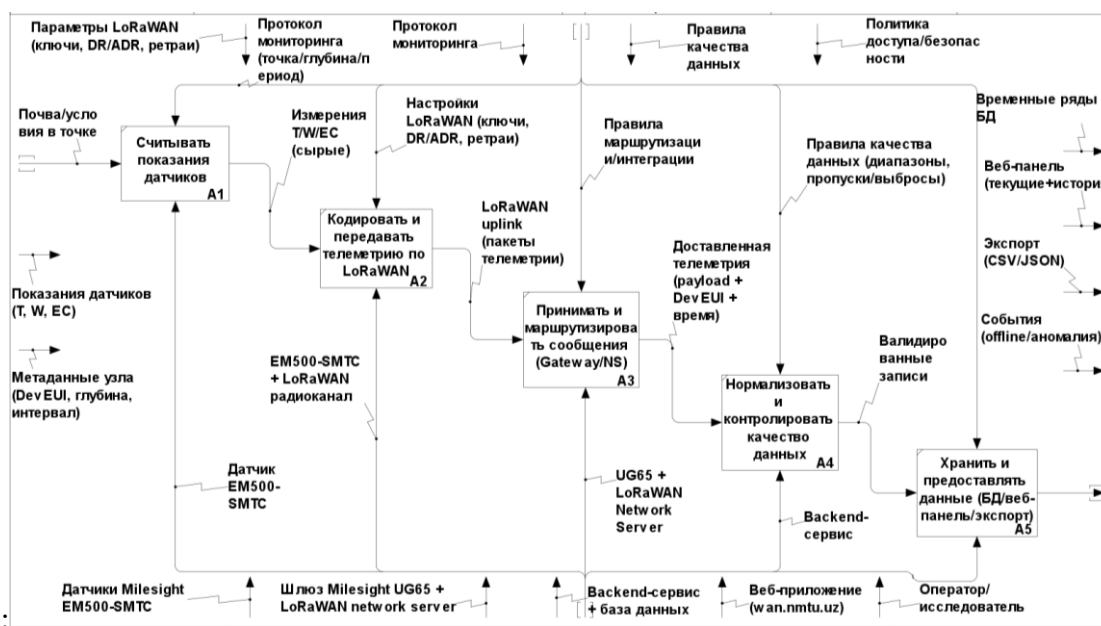


Рисунок 2. Декомпозиция IDEF0 (уровень A0): функции обработки телеметрии от датчика до веб-представления.

Передача телеметрии осуществляется по протоколу LoRaWAN на полупромышленный шлюз Milesight UG65, который принимает радиопакеты и обеспечивает их доставку в сетевую и серверную части по IP-каналу. На сервере выполняется приём сообщений от сетевого сервиса, декодирование полезной нагрузки и приведение данных к единому формату. Backend-сервис реализует первичную обработку: проверку временных меток, базовую валидацию диапазонов измерений, обработку пропусков и дубликатов с формированием структурированных записей для хранения. Пользовательский доступ реализован через веб-интерфейс, где доступны текущие значения, графики истории и таблица измерений, а также экспорт данных в CSV/JSON.

Предложенная архитектура IoT-системы мониторинга почвы на базе LoRaWAN и её функциональная формализация в IDEF0 обеспечивают воспроизводимое описание как компонентов, так и процессов преобразования данных - от первичного измерения до конечного представления пользователю. Реализована сквозная технологическая цепочка, включающая сенсоры почвенных параметров, LoRaWAN-инфраструктуру, серверные механизмы приёма и обработки телеметрии, долговременное хранение временных рядов и веб-интерфейс мониторинга. Практическая ценность решения заключается в автоматизации регулярных наблюдений и формировании непрерывных временных рядов,

**“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)**

которые могут выступать основой для анализа динамики состояния почвы и подготовки данных для последующих моделей и систем поддержки принятия решений.

**Список использованной литературы:**

1. LoRaWAN® L2 1.0.4 Specification (TS001-1.0.4) [Электронный ресурс] / LoRa Alliance Technical Committee ; ред.: T. Kramp, O. Seller [и др.]. – Version: 1.0.4. – [S. l.] : LoRa Alliance, Inc., 2020. – 90 p.
2. EM500-SMTC Soil Conductivity Sensor: User Guide [Электронный ресурс] / Milesight IoT Co., Ltd. – English ed. – Xiamen : Milesight, 2022. – 46 p.
3. UG65 LoRaWAN® Gateway: Quick Start Guide [Текст] / Milesight IoT Co., Ltd. – English ed. – Xiamen : Milesight, 2021. – 28 p.
4. FIPS PUB 183. Integration Definition for Function Modeling (IDEF0) [Текст] / National Institute of Standards and Technology (NIST). – Gaithersburg : U.S. Department of Commerce, 1993. – 116 p. – (Federal Information Processing Standards Publication).
5. Kanwal T., Rehman S. U., Imran A., Mahmoud H. A. Energy-Efficient Internet of Things-Based Wireless Sensor Network for Autonomous Data Validation for Environmental Monitoring // Computer Systems Science and Engineering. 2025. Vol. 49, No. 1. P. 185–212. DOI: 10.32604/csse.2024.056535.