VI Всероссийская (национальная) научная конференция: «Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий» (НТО-VI-2025)

17 (2025)

УДК 004.891
https://www.doi.org/10.47813/nto.6.2025.2016

EDN SWKPWA

Разработка интеллектуальной системы мониторинга и оптимизации вывоза твердых коммунальных отходов на основе IoT-технологий

М.Е. Штейнгарт, Т.С. Карасева*

Сибирский федеральный университет, ул. Киренского, д. 26а, Красноярск, 660074, Россия

*E-mail: tatyanakarasewa@yandex.ru

Аннотация В современном мире идет глобальная тенденция по очищению окружающей среды от мусора. Наиболее простой способ избежания загрязнения экологии – правильный подход к вывозу твердых коммунальных отходов. На сегодняшний день мусоровозы ездят по строгому графику, однако это не целесообразно, так как некоторые контейнеры остаются пустыми, а некоторые переполнены на столько, что их не видно за горой мусора. Это приводит к антисанитарии, недовольству населения, а также к значительным издержкам управляющих компаний, таких как перерасход топлива или износ технического оборудования. Чтобы решить эту проблему, необходимо разработать систему, основанную на технологиях интернета вещей для мусорных контейнеров. Система «Умный бак» — это мусорные контейнеры, которые оснащены датчиками заполнения, весами, GPS-трекером и автономным питанием. Такая система также включает в себя программный комплекс – мобильное и веб приложение для сбора, обработки и визуализации данных в режиме реального времени. Основные функции «Умного бака» включают в себя отслеживания уровня заполнения мусорного бака, построение оптимального маршрута для мусоровоза, прогнозирование нагрузки, а также формирование аналитических отчетов. Внедрение данной разработки позволит сэкономить финансовые ресурсы, направленные на заправку и техническое обслуживание машин, улучшить экологию за счет поддержания чистоты на площадках и повысить удовлетворенность населения, сократив количество мусора, разнесенного ветром, на улицах.

Ключевые слова: умный город, Интернет вещей (IoT), твердые коммунальные отходы (ТКО), оптимизация маршрутов, экологический мониторинг, интеллектуальные датчики.

Development of an Intelligent System for Monitoring and Optimizing Municipal Solid Waste Removal Based on IoT Technologies

M. E. Shteingart, T.S. Karaseva*

Siberian Federal University, 26a, Kirenskii street, Krasnoyarsk, 660074, Russia

*E-mail: tatyanakarasewa@yandex.ru

Abstract In today's world, there is a global trend toward cleaning up the environment. The simplest way to avoid environmental pollution is to properly remove municipal solid waste. Currently, garbage trucks operate on a strict schedule, but this is impractical, as some containers remain empty, while others are so full that they are hidden behind a mountain of garbage. This leads to unsanitary conditions, public dissatisfaction, and significant costs for management companies, such as excessive fuel consumption or wear and tear on technical equipment. To solve this problem, it is necessary to develop a system based on IoT technologies for garbage containers. The "Smart Bin" system consists of garbage containers equipped with fill sensors, scales, a GPS tracker, and an autonomous power supply. This system also includes a software suite – a mobile and web application – for collecting, processing, and visualizing data in real time. The Smart Bin's key functions include monitoring the bin's fill level, plotting optimal routes for the garbage truck, predicting loads, and generating analytical reports. Implementing this solution will save money on refueling and vehicle maintenance, improve the environment by maintaining clean areas, and increase public satisfaction by reducing the amount of wind-blown trash on the streets.

Keywords: smart city, Internet of Things (IoT), municipal solid waste (MSW), route optimization, environmental monitoring, smart sensors.

1. Введение

Современные тенденции цифровизации и внедрения технологий Интернета вещей (IoT) находят всё более широкое применение в сфере управления коммунальной инфраструктурой. Одной из актуальных задач является повышение эффективности системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами (ТКО) за счёт автоматизации процессов мониторинга и вывоза мусора. В этом контексте разработка интеллектуальных решений, таких как система «Умный бак», представляет собой важное направление развития «умных городов» [1]. Данное решение сочетает в себе аппаратные и программные компоненты, обеспечивающие сбор, анализ и визуализацию данных о состоянии мусорных контейнеров в реальном времени [2].

Система «Умный бак» ориентирована на создание полностью автономной инфраструктуры сбора информации о заполненности контейнеров, их местоположении и массе отходов, а также на интеллектуальное управление логистикой вывоза. Интеграция цифровых датчиков, модулей GPS и NB-IoT, микроконтроллеров и облачных сервисов обработки данных позволяет не только оптимизировать маршруты мусоровозов, но и прогнозировать накопление отходов с помощью технологий искусственного интеллекта. Таким образом, внедрение системы способствует снижению эксплуатационных затрат, уменьшению выбросов CO_2 за счёт сокращения холостых рейсов и повышению прозрачности работы коммунальных служб.

2. Цель исследования

Мусорный контейнер с системой «Умный бак» будет включать в себя следующие компоненты:

- цифровой датчик для мониторинга уровня заполненности мусорных контейнеров [3];
- встроенные весы, позволяющие учитывать не только объем, но и массу ТКО;
- GPS-модуль для точного определения местоположения бака и построения оптимальных маршрутов;
- микроконтроллер для сбора данных с датчиков и из первоначальную обработку;
- автономная система питания на основе солнечной батареи и аккумулятора, чтобы «Умный бак» мог автономно функционировать, не подключаясь к сети питания.

В российской практике уже представлены датчики наполнения контейнеров с NB-IoT-модулем, позволяющие передавать статус баков (уровень, наклон, падение) по стандарту NB-IoT [4].

Программная реализация включает в себя:

- Backend-систему развернутую на облачной инфраструктуре (например, Yandex Cloud) для хранения и обработки данных;
- мобильное или веб-приложение для сотрудников управляющих компаний, где будет показана карта с цветовой идентификацией уровня заполненности мусорного бака;
- прогнозирование наполнения контейнера с помощью технологий искусственного интеллекта;
- построение оптимального маршрута мусоровозу с учетом дорожных ситуаций также с помощью искусственного интеллекта.

Примером внедрения датчиков на мусорные контейнеры в России является компания «Центр 2М», российский информационный оператор, представила уникальную технологию по контролю обработки и вывоза твердых бытовых отходов [5].

Перспективы развития:

- масштабирование системы на города миллионники;
- интеграция с системами «умного города»;
- расширение функционала для классификации типов мусора (бумага, картон, стекло, металл, пластик и другие) с помощью компьютерного зрения [6].

При разработке и внедрении системы «Умный бак» возможен ряд технических и организационных трудностей. К основным относятся:

- высокие первоначальные затраты на оборудование и облачную инфраструктуру;
- ограниченное покрытие сетей NB-IoT и LoRaWAN в некоторых регионах;
- уязвимость оборудования к погодным условиям и вандализму;
- необходимость интеграции с существующими муниципальными системами («Умный город», ГИС ЖКХ);
- вопросы кибербезопасности и защиты передаваемых данных;
- требования к обучению персонала и адаптации рабочих процессов.

3. Методы и материалы исследования

Для определение конкурентных преимуществ разрабатываемой системы в таблице 1 представлены существующие системы мониторинга ТКО на основе технологий искусственного интеллекта и интернета вещей.

Таблица 1. Сравнительный анализ существующих решений систем мониторинга отходов на основе IoT.

Система	**Технологии передачи данных**	**Типы датчиков**	**Степень автономности**	**Программная реализация и особенности**
Умный бак (разрабатываемая)	NB-IoT, GPS	Уровень заполнения, вес	Солнечная батарея + аккумулятор	Микросервисная архитектура; облачная обработка данных (Yandex Cloud); мобильное и веб-приложения; прогнозирование наполнения и оптимизация маршрутов с помощью ИИ; визуализация в реальном времени
Центр 2М	NB-IoT	Уровень заполнения, температура, наклон	-	Цифровой сервис с нейросетевым анализом данных; автоматизация вывоза ТКО; облачная аналитика; интеграция с ГИС
SmartCityWaste	LoRaWAN, GSM	Уровень, вес, наклон	Солнечная батарея	Облачная аналитическая платформа; AI-прогнозирование; REST API для интеграции с муниципальными системами
IoT Waste Monitoring Systems	NB-IoT, Wi-Fi	Уровень, газ, температура, движение	От сети / батарея	Мобильное приложение и панель мониторинга; машинное обучение для прогнозирования; ML-оптимизация маршрутов; открытые API

Среди рассмотренных решений два являются отечественными – «Умный бак» и «Центр 2М». Проект «Центр 2М» уже функционирует на российском рынке и представляет собой коммерческое решение с интегрированными нейросетевыми алгоритмами анализа данных и мониторингом наполненности контейнеров [7]. Однако его функционал в основном ориентирован на контроль и диспетчеризацию, тогда как проект «Умный бак» предполагает более широкий функционал. В отличие от зарубежных систем, отечественные решения

демонстрируют высокую адаптацию к российским условиям, включая специфику инфраструктуры, климатические особенности и нормативную базу.

На рисунке 1 представлена трехуровневая архитектура системы «Умный бак». Аппаратный уровень собирает данные с помощью датчиков. Данные по беспроводным каналам связи передаются на программный уровень, где в облачной инфраструктуре обрабатываются и анализируются с помощью алгоритмов искусственного интеллекта. Результаты в виде визуализированной информации и маршрутов передаются на клиентский интерфейс – веб-приложение для диспетчеров и мобильное приложение для водителей мусоровозов.

Рисунок 1. Трехуровневая архитектура системы «Умный бак».

4. Полученные результаты

На рисунке 2 представлена BPMN-диаграмма, которая демонстрирует бизнес-процесс работы системы «Умный бак».

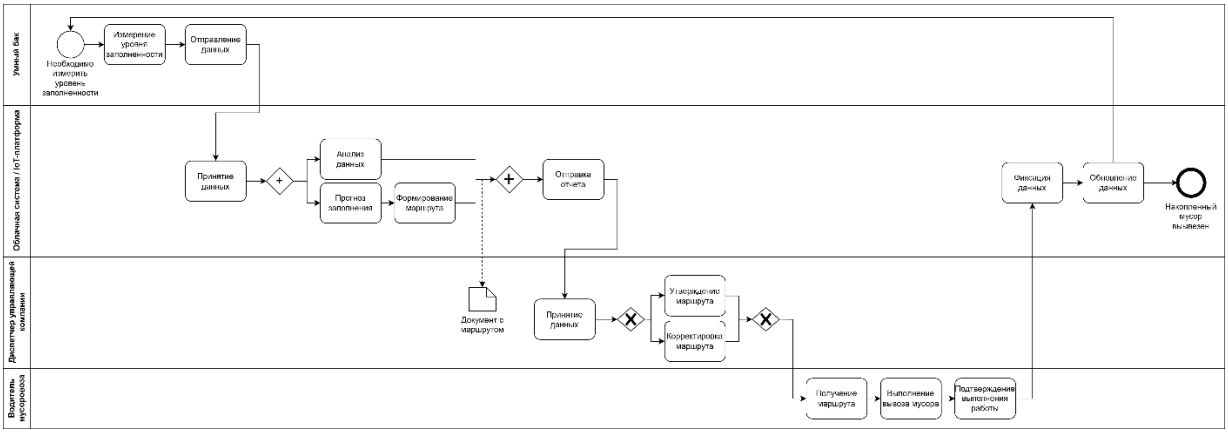

Рисунок 2. BPMN-диаграмма для представления этапов функционирования «Умного бака».

Основными участниками процесса являются:

- умный бак как источник данных о заполненности контейнера;

- облачная система / IoT-платформа как компонент, принимающий, анализирующий и обрабатывающий данные с датчиков;
- диспетчер управляющей компании, то есть сам пользователь, контролирующий и утверждающий маршруты;
- водитель мусоровоза, осуществляющий вывоз отходов и подтверждающий выполнение задания.

Процесс начинается с измерения уровня заполненности контейнера и отправки данных на облачную платформу. После приема данных система выполняет анализ показателей и прогнозирование заполнения на основе встроенных алгоритмов. В случае необходимости формируется оптимальный маршрут вывоза мусора.

Полученные результаты передаются диспетчеру, который утверждает или корректирует маршрут. Утвержденное задание поступает водителю мусоровоза через мобильное приложение. После выполнения рейса водитель подтверждает факт вывоза, данные фиксируются в системе, и происходит обновление статуса контейнера.

5. Выводы

Результаты анализа показали, что система «Умный бак» имеет значительный потенциал для внедрения в российских городах и может стать частью комплексной экосистемы «умного города». Её ключевые преимущества заключаются в сочетании аппаратных и программных решений, высоком уровне автономности, использовании облачных технологий и алгоритмов искусственного интеллекта. В отличие от существующих решений, таких как проект «Центр 2М», «Умный бак» предлагает более широкий функционал — от прогнозирования уровня заполнения контейнеров до построения оптимальных маршрутов в реальном времени, что обеспечивает комплексный подход к управлению отходами.

Вместе с тем, успешная реализация проекта требует преодоления ряда технических и организационных трудностей, включая обеспечение устойчивого покрытия сетей NB-IoT, защиту данных и адаптацию системы к существующим муниципальным платформам. В перспективе «Умный бак» может быть масштабирован на крупные города, интегрирован с другими элементами городской цифровой инфраструктуры и дополнен функциями компьютерного зрения для автоматической классификации отходов. Всё это делает

разработку системы значимым шагом в направлении экологически устойчивого и технологически продвинутого управления городской средой.

Список литературы

1. Mookkaiah S. S. Design and development of smart Internet of Things–based solid waste management system using computer vision / S. S. Mookkaiah, Th. Gurumekala, H. Rahul, H. Nipun, S. Hargovind. – Environmental Science and Pollution Research. – 2022. № 29(43). – С. 64871-64885.
2. Thaseen I. An Intelligent Waste Management Application Using IoT and a Genetic Algorithm – Fuzzy Inference System / I. Thaseen, V. Mohanraj, S. Ramachandran, A. Balakrishnan. – Applied Sciences: MDPI. – 2023. – № 13(6). С. 3943.
3. В Ленинском округе Подмосковья появились умные мусорные контейнеры: сайт. – URL: https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/news/v-leninskom-okruge-podmoskovya-poyavilis-umnye-musornye-konteynery/ (дата обращения: 03.11.2025).
4. Умные уроги и системы мониторинга отходов: сайт. – URL: https://smartcitywaste.ru/#section-id-1658387203517 (дата обращения: 02.11.2025).
5. Уборку мусора будет контролировать «Нейросеть»: Цифровой сервис «2М» представил комплекс для автоматизации работы с ТКО : сайт. – URL: https://ru-bezh.ru/press-releases/32089-uborku-musora-budet-kontrolirovat-nejroset-czentr-2m-predstavil (дата обращения: 02.11.2025).
6. Обзор систем мониторинга уровня отходов для умных городов на основе IoT : сайтм. – 2020. – URL: https://arxiv.org/abs/2006.05873 (дата обращения: 01.11.2025).
7. Bigbelly Smart Waste and Recycling Systems : сайт. – URL: https://bigbelly.com (дата обращения: 02.11.2025).