

ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОГО ГОРОДА: УМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ В УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Зуева Д.А.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Уваров Р.А.

Университет ИТМО

Введение

Глобальная урбанизация и рост населения в мегаполисах привели к резкому увеличению объёмов твёрдых коммунальных отходов (ТКО). По данным Всемирного банка, города генерируют более 2 млрд тонн отходов ежегодно, и этот объём будет увеличиваться на 5–6% в год до 2050 года. [1] В России эта проблема остаётся крайне острой: более 90% ТКО захораниваются на полигонах, в то время как в развитых странах уровень переработки достигает 50–80% [2]. Цифровизация управления отходами — внедрение IoT-датчиков, платформ анализа данных, систем оптимизации маршрутов и AI-сортировки — предоставляет научно-обоснованные пути решения этих проблем. Данное исследование нацелено на анализ современных цифровых решений, их эффективности на реальных объектах, многокритериальной оценке применимости в российском контексте, с целью выработки рекомендаций для устойчивого развития городских систем управления отходами.

Основная часть

Исследование охватило три основных направления.

- 1) Первое направление — IoT-системы мониторинга (BigBelly, Ecube Labs). Изучена их роль в оптимизации логистики сбора отходов через мониторинг заполнения контейнеров в реальном времени и прогнозирование переполнений; проанализирована их архитектура: датчики уровня заполнения контейнеров на основе ультразвуковых волн частотой 20-40 кГц и на основе LiDAR датчиков, передача данных в реальном времени в облачную платформу, алгоритмы прогнозирования переполнений и автоматическая генерация оптимальных маршрутов для мусоровозов.
Переход от фиксированных графиков вывоза к управлению «по фактическому заполнению» позволяет сократить число рейсов, снизить затраты на топливо и труд, уменьшить количество переполненных контейнеров и связанных с ними санитарных и социальных проблем. Отдельное внимание уделяется сезонному аспекту: в тёплый период, когда возрастает доля органики и действуют более жёсткие санитарные требования (ежедневный вывоз при t более +5 °C [3]), IoT-мониторинг позволяет гибко перераспределять ресурсы и поддерживать требуемый уровень сервиса без избыточных затрат.;
- 2) Второе направление — AI-системы сортировки (AMP Robotics, ZenRobotics). Проанализирована эффективность автоматизированного распознавания и сортировки материалов с использованием глубокого обучения: работа систем компьютерного зрения и глубокого обучения позволяет распознавать сотни категорий материалов в потоке ТКО и строительных отходов. Такие комплексы способныкратно повысить коэффициент извлечения вторичных ресурсов по сравнению с ручной сортировкой, одновременно снижая влияние «человеческого фактора» и повышая безопасность труда [4]. Возможен переход от капиталоемкой модели приобретения оборудования к сервисной модели «оплата за услугу», при которой оплата привязывается к объёму обработанных тонн, что делает технологию более доступной для муниципалитетов и операторов.;
- 3) Третье направление — многокритериальные методы принятия решений (MCDA).

Рассмотрены методы АНР и TOPSIS для обоснованного выбора технологий с учётом экологических, экономических и социальных критериев. С их помощью можно формализовать и взвесить одновременно несколько самостоятельных критериев, а затем ранжировать альтернативы: варианты технологий обработки, схемы территориального планирования, площадки размещения объектов. Отмечено, что в условиях высокой конфликтности проектов ТКО в России применение MCDA позволяет сделать процесс выбора более прозрачным для заинтересованных сторон, снизить риск социального неприятия и повысить обоснованность принимаемых решений.

На основе анализа успешных кейсов внедрения в разных странах предложена концептуальная трёхуровневая архитектура цифровизации: мониторинг → сортировка → принятие решений.

1. мониторинг и сбор данных (IoT) — обеспечивают точную картину образования и накопления отходов в пространстве и времени;
2. обработка и сортировка (AI-системы) — максимизируют извлечение вторичных ресурсов и снижают объём захоронения;
3. стратегическое планирование и выбор решений (MCDA) — обеспечивают комплексное учёт эколого-экономических и социальных факторов при развитии системы. Такая архитектура задаёт целостную рамку для проектирования интеллектуальной системы управления ТКО в российских мегаполисах.

Выводы

Проведён комплексный анализ цифровых решений в управлении отходами и методов многокритериального обоснования выбора технологий. Разработана концептуальная модель трёхуровневой архитектуры для применения в российских мегаполисах.

Литература

1. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 – World Bank Group. Open Knowledge Repository – 2018. – Режим доступа: <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>.
2. Шелепина Н.В. Совершенствование методологии оценки эффективности системы управления твердыми коммунальными отходами в целях развития экологической ответственности бизнеса // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и Экологический менеджмент» – 2024. – № 4. – С. 71.
3. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарноэпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий" с изменениями на 26 июня 2021 года.
4. AMP Robotics: Evergreen rPET – US Plastic Pact статья 2024. – дата обращения 11.01.2026 – Режим доступа: <https://usplasticpact.org/case-study/amp-robotics-2/>.