

УДК 338.49

<https://www.doi.org/10.47813/rosnio-III.2024.3002>

EDN UCZNSU

## Развитие современных технологий управления отходами: обзор SWB-решений

**Е.В. Туева**

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

E-mail: Fresco-genechka@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрен важный аспект современных технологий управления отходами, связанный с внедрением SWB-решений для применения умных мусорных баков. Это отражает современные тенденции управления отходами на основе интеллектуальных решений и применении ИТ-инструментов. Несмотря на то, что внедрение осуществляется в локальных системах управления отходами, данные решения важны в контексте реализации идеи «умного города». Рассматривается LCA-метод оценки жизненного цикла, позволяющий оценить экологический след продукта на протяжении всей его жизни, на всех стадиях: добыча, производство, упаковка, транспортировка, использование, утилизация. Представлены основные технологии Интернета вещей, которые могут использоваться для интеграции интеллектуальных мусорных контейнеров в локальные или глобальные сети.

**Ключевые слова:** управление отходами, Интернет вещей, интеллектуальные решения, умный мусорный бак, экологический след продукта.

## Development of modern waste management technologies: review of SWB solutions

**E.V. Tueva**

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: Fresco-genechka@mail.ru

**Abstract.** The article discusses an important aspect of modern waste management technologies related to the implementation of SWB solutions for the use of smart waste bins. This reflects modern trends in waste management based on intelligent solutions and the use of IT tools. Despite the fact that the implementation is carried out in local waste management systems, these solutions are important in the context of the implementation of the “smart city” idea. The LCA method of life cycle assessment is considered, which allows assessing the environmental footprint of a product throughout its entire life, at all stages: extraction, production, packaging, transportation, use, disposal. The main Internet of Things technologies that can be used to integrate smart waste containers into local or global networks are presented.

**Keywords:** waste management, Internet of things, smart solutions, smart waste bin, product environmental footprint.

## 1. Введение

Исследователи, как правило, рассматривают две группы производства отходов [1-5]. Первая группа – это муниципальные отходы, которые производит каждый человек, причем с ростом населения растет их количество и разнообразие. Таким образом, производство этой группы отходов напрямую связано с деятельностью человека [1]. Вторую группу составляют промышленные отходы [2], то есть те отходы, которые связаны с производственной деятельностью предприятий. Отмечается, что в связи с экономическим развитием и улучшением условий жизни в обществе количество отходов также увеличивается [6]. Проблемой и в то же время вызовом является необходимость повышения эффективности управления отходами в соответствии с их жизненным циклом при соблюдении законодательства с целью снижения вредного воздействия на окружающую среду [7].

Сегодня при обращении с отходами могут возникать проблемы, связанные, например, с негативным воздействием на биосферу, включая загрязнение воды, почвы, воздуха [8]. Минимизации воздействия отходов на окружающую среду можно достичь, принимая соответствующие меры на глобальном, национальном, региональном и местном уровнях [9-12]. На всех уровнях важным вопросом остается анализ экономической эффективности мероприятий, связанных с минимизацией воздействия отходов на окружающую среду. Как показывает сегодняшняя практика управления отходами, все больше и больше внимания уделяется современным интеллектуальным решениям, которые внедряются в ИТ-секторах управления отходами [13-19].

## 2. Материалы и методы

В ряде работ воздействие исследуемых продуктов и систем на окружающую среду предлагается анализировать на основе LCA-метода оценки жизненного цикла (LCA - life-cycle assessment). LCA – это методика, позволяющая оценить экологический след продукта на протяжении всей его жизни, на всех стадиях: добыча, производство, упаковка, транспортировка, использование, утилизация. «Продукт» означает, как материал, так и сервисы. LCA также является неотъемлемой частью для реализации проекта и подготовки EPD (Environmental Product Declaration). Эта декларация, которая содержит данные о воздействии объекта на окружающую среду в процессе его жизненного цикла.

Достоверность данных, получаемая с помощью данного метода, зависит от четкости постановки цели, настройки границ и качества исходных данных. Метод оценки жизненного цикла (ОЖЦ) позволяет, кроме того, выявлять важные факторы воздействия на окружающую среду. Эти, выявляемые и ранжируемые по различным критериям, факторы в первую очередь, требуют особого внимания со стороны исследователей [20]. ОЖЦ доказал свою полезность при оценке стратегий обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Эти стратегии учитывали оценки выбросов парниковых газов, энергосбережение и экономические показатели альтернативных стратегий управления, например, твердыми бытовыми отходами (ТБО) путем рассмотрения взаимодействия между показателями на основе социальных переменных с 2020 по 2030 год в STLW [21].

Методы, применяемые для управления отходами, поддерживаются современными интеллектуальными решениями, основанными на ИТ-инструментах. Эти решения все чаще внедряются в локальные системы управления отходами, и они важны в контексте реализации идеи «умного города» [22, 23].

### 3. Результаты и обсуждение

С учетом развития технологий управления отходами в направлении минимизации воздействия отходов на окружающую среду следует отметить, что существует широкий спектр подходов: от традиционных методов, таких как компостирование или захоронение мусора, до современных решений с использованием технологий Интернета вещей (IoT).

В частности, целью разработки умных мусорных баков (SWB - Smart Waste Bins) является предоставление простого решения для обработки всех мусорных баков на территории город или поселка. Умный мусорный бак (УМБ) оснащен различными датчиками и элементами технологий, которые помогают более эффективно управлять отходами [24]. В первую очередь, это датчики, которые позволяют обнаруживать и анализировать широкий спектр данных. Например, таких, как уровень заполнения контейнера, выбросы газов, образующиеся из отходов, влажность, вес и многое другое. Эффективным методом контроля уровня заполнения отходами является использование ультразвукового датчика для сравнения текущего уровня заполнения путем измерений расстояния между верхней и нижней частью контейнера. Затем микроконтроллер

сравнивает это значение с емкостью заполнения мусорного бака, чтобы отправить уведомление о состоянии УМБ. Поскольку интеллектуальные датчики мусорных баков являются устройствами Интернета вещей (IoT), они могут взаимодействовать с другими устройствами/системами, такими как конечные устройства сотрудников по управлению отходами, чтобы предоставлять им информацию о состоянии объектов обслуживания.

Очевидно, что аппаратное обеспечение УМБ должно правильно взаимодействовать с программным обеспечением для успешной обработки информации, поставляемой различными датчиками. Система хранения данных обеспечивает их дальнейший анализ, поэтому все данные, собранные с различных датчиков, необходимо хранить в базе данных.

Ряд авторов отмечает, что в сфере управления отходами все более распространенными становятся RFID-метки [25] с RFID-датчиками, которые дешевы и потребляют мало энергии, а также системы GPS-слежения [12-14]. RFID-метки, прикрепленные к УМБ или мусоровозам, могут передавать данные об их местонахождении и текущем состоянии. Важно, что существует достаточно много технологий Интернета вещей, которые могут использоваться для интеграции интеллектуальных УМБ к локальной или глобальной сети [26]. Рассмотрим некоторые из наиболее часто используемых.

1. Облегченный протокол обмена сообщениями MQTT - Message Queuing Telemetry Transport. Данный протокол разработан для приложений Интернета вещей с низким энергопотреблением и имеет очень надежные гарантии доставки. Используется TCP/IP для передачи данных. Фактически, УМБ может выступать в качестве клиента шлюза, который взаимодействует с облаком с помощью MQTT [27].
2. Протокол беспроводной связи LoRaWAN (глобальная сеть с низким энергопотреблением), который используется для маломощных приложений IoT с большим радиусом действия. Для УМБ важным аспектом является возможность передачи данных на большие расстояния с минимальным энергопотреблением. [28].
3. Использование Bluetooth обеспечивает подключение для связи на близком расстоянии. Данная технология не актуальна для крупномасштабных систем из-за ограниченного диапазона действия [18], но может быть использована для

технического обслуживания на локальном уровне в случае отказа распределенной системы [19, 29].

4. Также для связи между интеллектуальными контейнерами (УМБ) используются компоненты глобальной системы мобильной связи GSM (Global System for Mobile Communications). Это технология сотовой сети, которая обеспечивает высокую пропускную способность и высокую скорость передачи данных [26]. При этом данная технология недорога и может быть легко реализована для взаимодействия компонентов системы [30].

#### 4. Заключение

Таким образом, выбор той или иной технологии связи для «умных» мусорных баков зависит от многих факторов, которые включают: покрытие сети, энергопотребление, стоимость технологии и требования к приложениям. Одной из широко используемых для УМБ является GSM-технология, а также существенное место занимают такие варианты, как MQTT или LoRaWAN.

При этом следует отметить, что передовые программные продукты, альтернативные технологии транспортировки отходов, современные стандарты связи и управление отходами с использованием сети датчиков — это лишь часть современных технологий. Многие решения в области современных технологий обращения с отходами являются дорогостоящими. Это существенно ограничивает возможности их применения. Кроме того, их использование связано с особыми техническими требованиями, которые не всегда возможно удовлетворить. Как правило, преимущества и недостатки той или иной технологии должны быть оценены до их внедрения, что требует дальнейших исследований для повышения уровня знаний об их эффективности и реализуемости в зависимости от региональных и инфраструктурных условий обслуживаемой территории.

#### Список литературы

1. Czekala W., Drozdowski J., Łabiak P. Modern Technologies for Waste Management: A Review. *Applied Sciences*. 2023; 13(15): 8847. <https://doi.org/10.3390/app13158847>
2. Czekala, W. Biogas as a Sustainable and Renewable Energy Source. In *Clean Fuels for Mobility*; Di Blasio, G., Agarwal, A.K., Belgiorno, G., Shukla, P.C., Eds.; Springer: Singapore, 2022; pp. 201–214.

3. The efficiency analysis of the automated plants / I. Kovalev, P. Zelenkov, S. Ognerubov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: XVII International Scientific Conference "Reshetnev Readings", Krasnoyarsk, 12–14 ноября 2014 года. Vol. 70. – Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2015. – P. 012007. – DOI 10.1088/1757-899X/70/1/012007. – EDN UEMYPJ.
4. Kovalev, I. The Efficiency Analysis of Automated Lines of Companies Based on DEA Method / I. Kovalev, P. Zelenkov, S. Ognerubov // Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. – 2014. – Vol. 675. – P. 107-115. – DOI 10.1007/978-3-319-03907-7\_12. – EDN UFMVAV.
5. Saeedi, K.; Visvizi, A.; Alahmadi, D.; Babour, A. Smart Cities and Households' Recyclable Waste Management: The Case of Jeddah. Sustainability 2023, 15, 6776. [Google Scholar] [CrossRef]
6. Czekala, W.; Janczak, D.; Pochwatka, P.; Nowak, M.; Dach, J. Gases Emissions during Composting Process of Agri-Food Industry Waste. Appl. Sci. 2022, 12, 9245.
7. Wierzbowska, J.; Sienkiewicz, S.; Załuski, D. Nitrogen Fractions in Soil Fertilized with Waste Organic Materials. Agronomy 2021, 11, 1474.
8. Ковалев, И. В. Анализ эффективности организационно-технологических комплексов предприятий / И. В. Ковалев, А. А. Новожилов, Т. А. Рукавицына // Системы управления и информационные технологии. – 2010. – № 4(42). – С. 36-39. – EDN NBIRKP.
9. Tynchenko, Ya. A. Improving the efficiency of technological measurements when monitoring production and environmental indicators of thermal power plants / Ya. A. Tynchenko, I. V. Kovalev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conference proceedings, Krasnoyarsk, Russia, 13–14 ноября 2019 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 421. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 62001. – DOI 10.1088/1755-1315/421/6/062001. – EDN EKORMZ.
10. Ковалев, И. В. Принятие управленческих решений на основе анализа эффективности организационно-технологических комплексов предприятий / И. В. Ковалев, А. А. Новожилов, Т. А. Рукавицына // Экономика и менеджмент систем управления. – 2011. – № 1(1). – С. 36-42. – EDN OEZOXJ.

11. Model of the reliability analysis of the distributed computer systems with architecture "client-server" / I. V. Kovalev, P. V. Zelenkov, M. V. Karaseva [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: XVII International Scientific Conference "Reshetnev Readings", Krasnoyarsk, 12–14 ноября 2014 года. Vol. 70. – Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2015. – P. 012009. – DOI 10.1088/1757-899X/70/1/012009. – EDN UEMVYN.
12. The concept of creation of information system for environmental monitoring based on modern GIS-technologies and earth remote sensing data / Y. P. Yuronen, E. A. Yuronen, V. V. Ivanov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific and Research Conference on Topical Issues in Aeronautics and Astronautics (Dedicated to the 55th Anniversary from the Foundation of SibSAU), Krasnoyarsk, 06–10 апреля 2015 года. Vol. 94. – Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2015. – P. 012023. – DOI 10.1088/1757-899X/94/1/012023. – EDN VALBXD.
13. Application of FreeRTOS for Implementation of the Execution Environment of Real-time Multi-version Software / M. V. Saramud, I. V. Kovalev, V. V. Losev, M. O. Petrosyan // International Journal on Information Technologies and Security. – 2018. – Vol. 10, No. 3. – P. 75-82. – EDN OAXZZL.
14. On the problem of monitoring a technological process based on multipoint spatial measurement of parameters / I. V. Kovalev, V. V. Losev, M. V. Saramud [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 20–22 июня 2019 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 315. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. – P. 62030. – DOI 10.1088/1755-1315/315/6/062030. – EDN НТАVМН.
15. Математическое моделирование и алгоритмизация функций мониторинга технологических процессов на основе многоточечных измерительных систем / И. В. Ковалев, Д. И. Ковалев, В. В. Лосев [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 6-1. – С. 29-38. – DOI 10.17513/snt.38693. – EDN ERYLYC.
16. Tynchenko, Ya. A. Expert study of emission monitoring equipment for Russian thermal power plants / Ya. A. Tynchenko, I. V. Kovalev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 20–22 июня 2019 года / Krasnoyarsk Science and

- Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 315. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. – P. 62021. – DOI 10.1088/1755-1315/315/6/062021. – EDN HCPSZY.
17. On the question of economic efficiency and how to assess it / M. O. Petrosyan, I. V. Kovalev, P. V. Zelenkov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 19th International Scientific Conference Reshetnev Readings 2015, Krasnoyarsk, 10–14 ноября 2015 года. Vol. 122. – Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2016. – P. 012026. – DOI 10.1088/1757-899X/122/1/012026. – EDN WVXSZP.
  18. Ковалев, И. В. Обзор V Международного научного семинара по компьютерному моделированию, информационным и вычислительным технологиям - MIP: Computing-V 2022 / И. В. Ковалев, А. С. Кузнецов, А. А. Ворошилова // Современные инновации, системы и технологии. – 2022. – Т. 2, № 2. – С. 215-230. – DOI 10.47813/2782-2818-2022-2-2-0215-0230. – EDN BYHVRO.
  19. Intelligent reconfigurable photovoltaic system / E. Engel, N. E. Engel, I. Kovalev, N. Testoyedov // Energies. – 2021. – Vol. 14, No. 23. – DOI 10.3390/en14237969. – EDN NOVLZX.
  20. Iqbal, A.; Zan, F.; Liu, X.; Chen, G.-H. Integrated Municipal Solid Waste Management Scheme of Hong Kong: A Comprehensive Analysis in Terms of Global Warming Potential and Energy Use. *J. Clean. Prod.* 2019, 225, 1079–1088.
  21. Lu, D.; Iqbal, A.; Zan, F.; Liu, X.; Chen, G. Life-Cycle-Based Greenhouse Gas, Energy, and Economic Analysis of Municipal Solid Waste Management Using System Dynamics Model. *Sustain. Sci. Pract. Policy* 2021, 13, 1641.
  22. Goutam Mukherjee, A.; Ramesh Wanjari, U.; Chakraborty, R.; Renu, K.; Vellingiri, B.; George, A.; CR, S.R.; Valsala Gopalakrishnan, A. A Review on Modern and Smart Technologies for Efficient Waste Disposal and Management. *J. Environ. Manag.* 2021, 297, 113347.
  23. Mingaleva, Z.; Vukovic, N.; Volkova, I.; Salimova, T. Waste Management in Green and Smart Cities: A Case Study of Russia. *Sustain. Sci. Pract. Policy* 2019, 12, 94.
  24. Shyam, G.K.; Manvi, S.S.; Bharti, P. Smart Waste Management Using Internet-of-Things (IoT). In Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT), Chennai, India, 23–24 February 2017.

25. Pardini, K.; Rodrigues, J.J.P.C.; Hassan, S.A.; Kumar, N.; Furtado, V. Smart Waste Bin: A New Approach for Waste Management in Large Urban Centers. In Proceedings of the 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Chicago, IL, USA, 27–30 August 2018.
26. Joshi, S.; Singh, U.K.; Yadav, S. Smart Dustbin Using GPS Tracking. *Int. Res. J. Eng. Technol.* **2019**, *6*, 156–170.
27. Bharadwaj, A.S.; Rego, R.; Chowdhury, A. IoT Based Solid Waste Management System: A Conceptual Approach with an Architectural Solution as a Smart City Application. In Proceedings of the 2016 IEEE Annual India Conference (INDICON), Bangalore, India, 16–18 December 2016.
28. Baldo, D.; Mecocci, A.; Parrino, S.; Peruzzi, G.; Pozzebon, A. A Multi-Layer LoRaWAN Infrastructure for Smart Waste Management. *Sensors* **2021**, *21*, 2600.
29. Оценка надежности АСУ с блокирующими модулями защиты / И. В. Ковалев, П. А. Кузнецов, П. В. Зеленков [и др.] // Приборы. – 2013. – № 6(156). – С. 20-23. – EDN QYWUTD.
30. Model implementation of the simulation environment of voting algorithms, as a dynamic system for increasing the reliability of the control complex of autonomous unmanned objects / I. Kovalev, V. Losev, M. Saramud, M. Petrosyan // MATEC Web of Conferences, Rostov-on-Don, 13–15 сентября 2017 года. Vol. 132. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2017. – P. 04011. – DOI 10.1051/mateconf/201713204011. – EDN XNKSVN.