

М. Р. Чащин,  
Научный руководитель Е. Р. Магарил,  
*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

## **ЦИФРОВЫЕ НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ**

Digital neural network developments are used in various branches of economic activity. In the conditions of circular economy it is relevant to consider the use of neural networks in the sphere of solid municipal waste management. The article considers the potential of using neural network developments in this sphere. The integrated scheme of solid municipal waste management on the basis of integrated approach is formed.

Цифровые нейросетевые разработки с течением времени находят все большее применение в различных сферах хозяйственной деятельности. С помощью соответствующих цифровых продуктов возможно генерировать текст, изображения, воспроизводить речь другого человека, а на основе изображений объектов формировать видеоряд. Их используют при автоматизации записей в медицинские организации через «умные» колонки, оптимизации процессов в организациях (*call*-центры), генерирования контента для социальных сетей. В связи с этими вызовами появляется потребность в появлении разработок, позволяющих идентифицировать признаки нейросетевых продуктов. Цифровые нейросети находят применение и в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО). В связи с этим становится актуальной оценка возможностей применения цифровых нейросетевых разработок в системе управления ТКО в условиях развития циркулярной экономики и достижения цели устойчивого развития Организации объединенных наций (ООН) «Ответственное производство и потребление». Цель исследования: провести обзор источников и сформировать комплексную схему использования нейросетевых инструментов в системе управления твердыми коммунальными отходами. Исследование содержит следующие основные этапы: рассмотрение подходов к определению цифровых нейросетей, формирование свода исследований по тематике, определение перспектив использования нейросетевых разработок для совершенствования системы ТКО в условиях перехода к циркулярной экономике.

Первоначально сущность цифровых нейросетевых инструментов раскрыта в работах нейропсихолога, теоретика искусственных сетей нейронов Уоррена Маккалока, математика и нейролингвиста Уолтера Питтса [1]. Существуют следующие основные подходы к определению искусственных нейросетей: алгоритмы, включающие математические модели на основе принципов самообучения за счет решений сходных задач и их постоянного дополнения. Аспекты использования цифровых нейросетевых продуктов рассмотрены в трудах исследователей. Их можно распределить по следующим основным блокам: инструмент прогнозирования образования ТКО, встраивание нейросетей в киберфизические системы («умные» контейнеры), использование продуктов при сортировке ТКО, визуализация объектов ТКО (мусорные полигоны, 3D объекты в технологиях *AR* и *VR*) и др.

Программные разработки включают в состав нейросетевых инструментов и комбинируют их с оптической сортировкой ТКО, при проектировании систем переработки ТКО различных объектов для определения оптимальных логистических маршрутов в местностях и др. (табл.).

Таблица

Свод исследований и основное содержание в тематике использования цифровых нейросетевых инструментов в системе управления ТКО\*

Авторы	Суть цифрового нейросетевого инструмента / цифрового продукта
<p><i>Elshaboury, N., Mohammed Abdelkader, E., Al-Sakkaf, A., Alfalah, G. [2]; Dongjie, Niu, Fan, Wu, Shijin, Dai, Sheng, He, Boran, Wu [3]</i></p>	<p>Прогнозирование количества ТКО посредством <i>U</i>-критерия Уилкоксона-Манна-Уитни. Используются данные: численность населения по городам, доход на душу населения, коэффициент занятости населения, количество организаций <i>REGON</i> на 10 тыс. жителей, количество организаций по видам деятельности, общее количество отходов. Установлен умеренный и повышенные уровни корреляции между объемами ТКО и социально-экономическими факторами. Прогнозирование образования объемов ТКО по местностям, включая социально-экономические факторы</p>

Продолжение таблицы	
Авторы	Суть цифрового нейросетевого инструмента / цифрового продукта
<i>Fatimah, Y. A., Widiyanto, A., Hanafi, M.</i> [4]	Киберфизические системы
<i>Ahmed, M. I. B., Alotaib, i R. B., Al-Qahtani, R. A., Al-Qahtani, R. S., Al-Hetela, S. S., Al-Matar, K. A, Al-Saqer, et al.</i> [5]; <i>Lu, W., Chen, J.</i> [6]; <i>Tinapat, L. et al</i> [7]; <i>Zhang, S., Chen, Y., Yang, Zh., Gong, H.</i> [8]; <i>Lin, Y. H., Mao, W. L.</i> [9], <i>Lu, W., Chen, J.</i> [10]; <i>Zhou, Q.; Liu, H.; Qiu, Y.; Zheng, W.</i> [11]	Компьютерное зрение при сортировке ТКО
<i>DelCarmen-Niño, V., Herrera-Navarrete R., Juárez-López, A. L., Sampedro-Rosas, M. L., Reyes-Umaña,</i> [12]; <i>Liu, Q., Chen, Y., Hu, W., Dong, J., Sun, B., Cheng, H.</i> [13]; <i>Saucedo, Martinez, J. A.</i> [14]; <i>Mendoza, A., Alvarado-Vazquez, M. d.R</i> [15] <i>et al.</i>	Поиск логистических решений для снижения выбросов CO <sub>2</sub> , оптимизация логистики ТКО
Программные продукты: <i>Auto CAD Plant 3D Aspen Hysys, GPS</i> , веб-картографические сервисы, <i>D-Waste</i> (Калькулятор <i>Land Vol (Landfill Volume &amp; Area)</i> ), Аристов К. А. и др.	Визуализация, навигация и моделирование объектов ТКО, мобильный сервис <i>Nestle</i> для сортировки ТКО ( <i>Nestlé Singapore</i> и <i>Nanyang Polytechnic School of Information Technology</i> ) – сканирование штрих-кода продукции, в которой содержится инструкция по сортировке, <i>I Scrap App</i> (определение складов для отходов (металлолом), <i>Recycle for Greater Manchester</i> (карты и маршруты центров переработке в Манчестер), Калькулятор <i>Land Vol (Landfill Volume &amp; Area)</i> – расчет объема полигона, характеристик [16], калькулятор расчета теплоты сгорания ТКО – программный продукт с содержащейся библиотекой данных по видам ТКО и их характеристикам (зольность, влажность и др.) (Аристов К.А. ПНИПУ) <sup>1</sup>

\*составлено авторами на основании [2–15].

<sup>1</sup> Конкурс Грантов. Фонд содействия инновациям. [Электронный ресурс]. URL: [https://fasie.ru/upload/docs/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D1%8C%20%D0%B7%D0%B0%D1%8F%D0%B2%D0%BE%D0%BA,%20%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D1%85%20%D0%BA%20%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%BA%D0%B5%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D1%83%20%C2%AB%D0%A1%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0%D0%BF%C2%BB%20\(%D0%BE%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%8C%20III\).pdf](https://fasie.ru/upload/docs/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D1%8C%20%D0%B7%D0%B0%D1%8F%D0%B2%D0%BE%D0%BA,%20%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D1%85%20%D0%BA%20%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%BA%D0%B5%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D1%83%20%C2%AB%D0%A1%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0%D0%BF%C2%BB%20(%D0%BE%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%8C%20III).pdf) (дата обращения 15.03.2024)

В системе управления ТКО цифровые продукты и нейросети могут органично использоваться в каждом цикле обращения с ТКО (рис.):

- процесс сбора (определение отправка сигналов о наполненности ответственным транспортным организациям от «умных» контейнеров, оснащенных датчиками; система определения видов ТКО в рамках первичной сортировки; определение по снимкам и видео локациям стихийных мест накопления ТКО, мест возгораний ТКО посредством мониторинга местности дронами, спутниками);
- транспортировка (сбор данных и обработка о переполненных контейнерах, определение маршрутов);
- сортировка (использование системы распознавания видов ТКО);
- переработка (сбор и обработка данных о рекомендуемых инструкциях при переработке ТКО);
- моделирование объектов размещения ТКО и упаковочного материала в AR/VR – форматах на этапе проектирования.



Рис. Комплексная схема использования цифровых продуктов и нейросетей в системе управления ТКО по циклам (составлено авторами)

Комплексное использование цифровых инструментов усовершенствует процесс сортировки ТКО, сформирует более детальную аналитику для принятия оперативных и гибких управленческих решений в условиях развития циркулярной экономики в контексте индустрии 4.0.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Crevier D.* AI: the tumultuous history of the search for artificial intelligence. – 1993.
2. *Elshaboury N., Mohammed Abdelkader E., Al-Sakkaf A., Alfalah, G.* Predictive Analysis of Municipal Solid Waste Generation Using an Optimized Neural Network Model. *Processes*, 2021, 9, 2045. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.3390/pr9112045> (дата обращения: 29.02.2024).
3. *Dongjie N., Fan Wu, Shijin Dai, Sheng He, Boran Wu.* Detection of long-term effect in forecasting municipal solid waste using a long short-term memory neural network. *Journal of Cleaner Production*, Volume 290, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125187> (дата обращения 04.03.2024).
4. *Yun Arifatul Fatimah, Andi Widiyanto, Muhtar Hanafi.* Cyber-physical System Enabled in Sustainable Waste Management 4.0: A Smart Waste Collection System for Indonesian Semi-Urban Cities. *Procedia Manufacturing*, Volume 43, 2020, Pages 535-542 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.169> (дата обращения: 04.03.2024).
5. *Ahmed, M.I.B., Alotaibi, R.B., Al-Qahtani, R.A., Al-Qahtani, R.S., Al-Hetela, S.S., Al-Matar, K.A., Al-Saqer, N.K., Rahman, A., Saraireh, L., Youldash, M., et al.* Deep Learning Approach to Recyclable Products Classification: Towards Sustainable Waste Management. *Sustainability*, 2023, 15, 11138. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.3390/su151411138> (дата обращения: 04.03.2024).
6. *Weisheng Lu, Junjie Chen.* Computer vision for solid waste sorting: A critical review of academic research. *Waste Management*, Volume 142, 2022, Pages 29-43. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.009> (дата обращения: 09.03.2024).
7. *Tinapat Limsila et al* 2023 *J. Phys.: Conf. Ser.* 2550 012030 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://DOI 10.1088/1742-6596/2550/1/012030> (дата обращения: 09.03.2024).
8. *Song Zhang, Yumiao Chen, Zhongliang Yang, Hugh Gong.* Computer Vision Based Two-stage Waste Recognition-Retrieval Algorithm for Waste Classification. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 169, 2021, [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105543> (дата обращения: 12.03.2024).

9. *Lin YH, Mao WL, Fathurrahman HIK*. Development of intelligent Municipal Solid waste Sorter for recyclables. *Waste Management*, 2024 Feb 15;174:597-604. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://doi: 10.1016/j.wasman.2023.12.040](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.12.040). Epub 2023 Dec 24. PMID: 38145587 (дата обращения: 12.03.2024).
10. *Lu W, Chen J*. Computer vision for solid waste sorting: A critical review of academic research. *Waste Managment*, 2022 Apr 1; 142:29-43. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://doi: 10.1016/j.wasman.2022.02.009](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.009). Epub 2022 Feb 13. PMID: 35172271 (дата обращения: 12.03.2024).
11. *Zhou, Q., Liu, H., Qiu, Y., Zheng, W*. Object Detection for Construction Waste Based on an Improved YOLOv5 Model. *Sustainability*, 2023, 15, 681. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.3390/su15010681> (дата обращения: 14.03.2024).
12. *Del Carmen-Niño, V., Herrera-Navarrete R., Juárez-López A.L., Sampedro-Rosas M.L., Reyes-Umaña M*. Municipal Solid Waste Collection: Challenges, Strategies and Perspectives in the Optimization of a Municipal Route in a Southern Mexican Town. *Sustainability*, 2023, 15, 1083. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.3390/su15021083> (дата обращения: 14.03.2024).
13. *Liu, Q., Chen, Y., Hu, W., Dong, J., Sun, B., Cheng, H*. Underground Logistics Network Design for Large-Scale Municipal Solid Waste Collection: A Case Study of Nanjing, China. *Sustainability*, 2023, 15, 16392. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.3390/su152316392> (дата обращения: 14.03.2024).
14. *Saucedo Martinez J.A., Mendoza A., Alvarado Vazquez. M.d.R*. Collection of Solid Waste in Municipal Areas: Urban Logistics. *Sustainability*, 2019, 11, 5442. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.3390/su11195442> (дата обращения: 15.03.2024).
15. *Li, T., Deng, S., Lu, C., Wang, Y., Liao, H*. Optimization of Green Vehicle Paths Considering the Impact of Carbon Emissions: A Case Study of Municipal Solid Waste Collection and Transportation. *Sustainability*, 2023, 15, 16128. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.3390/su152216128> (дата обращения: 15.03.2024).
16. *Ermolaeva Y.* (2018). Мобильные приложения в управлении отходами: всемирные и российские тренды. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://doi.org/10.18413/2408-9338-2018-4-2-0-5> (дата обращения: 15.03.2024).

Maxim R. Chashchin,  
Research Supervisor E. R. Magaril,  
*Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia*

## **DIGITAL NEURAL NETWORK TOOLS IN THE MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM**