

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2022, №2 Том 9 / 2022, No 2, Vol 9 <https://resources.today/issue-2-2022.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/11ITOR222.pdf>

DOI: 10.15862/11ITOR222 (<https://doi.org/10.15862/11ITOR222>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Иорданова, А. В. Перспективы развития отрасли обращения с отходами в рамках концепции Индустрии 4.0 / А. В. Иорданова, В. В. Юшин, П. Л. Подколзин, Д. Е. Гладили // Отходы и ресурсы. — 2022. — Т. 9. — № 2. — URL: <https://mir-nauki.com/PDF/11ITOR222.pdf> DOI: 10.15862/11ITOR222

For citation:

Iordanova A.V., Yushin V.V., Podkolzin P.L., Gladilin D.E. Prospects for the development of the waste management industry within the framework of the Industry 4.0 concept. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 9(2): 11ITOR222. Available at: <https://mir-nauki.com/PDF/11ITOR222.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.15862/11ITOR222

Иорданова Анастасия Владимировна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия
Доцент кафедры «Охраны труда и окружающей среды»
Кандидат технических наук
E-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7780-497X>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=950648

Юшин Василий Валерьевич

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия
Заведующий кафедрой «Охраны труда и окружающей среды»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: otios@mail.ru

Подколзин Павел Леонидович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия
Студент
E-mail: pawel.podkolzin1999@gmail.com

Гладилин Даниил Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия
Студент
E-mail: danilglados@gmail.com

Перспективы развития отрасли обращения с отходами в рамках концепции Индустрии 4.0

Аннотация. Статья посвящена анализу потенциальных возможностей развития отрасли обращения с отходами при внедрении цифровых технологий. Рассмотрены основные уже разработанные технологии, а также перспективные исследования в данной отрасли: роботизация, искусственный интеллект и нейронные сети, интернет вещей, облачные вычисления, анализ данных. Приведены конкретные примеры использования описанных технологий в области обращения с отходами, их достоинства и недостатки.

Авторами проанализированы процессы обращения с отходами, трансформируемые в рамках концепции Индустрии 4.0: логистика твердых коммунальных отходов, документооборот при управлении отходами и процесс сортировки отходов, поступающих от

предприятий и населения. Представлен анализ основных движущих сил и барьеров на пути развития и внедрения технологий Индустрии 4.0 в области обращения с отходами. Выявлено, что основными движущими силами являются: увеличение количества образующихся отходов, ожидания потребителей, ценовое давление, урбанизация, климатический кризис, бизнес-модели. Основными барьерами выступают: большие инвестиционные затраты, вопросы обеспечения безопасности, отсутствие цифровой экосистемы и отсутствие цифровой грамотности у населения.

Кроме того, в статье рассмотрены возможные последствия использования цифровых технологий в сфере обращения с отходами. Данные последствия связаны в первую очередь с увеличением потребляемой энергии с целью создания и развития цифровых технологий, а также использование дополнительных ресурсов для производства инфраструктуры, вычислительных машин, различных роботов и других устройств. Немаловажны является тот факт, что любая инфраструктура имеет жизненный цикл, и в конечном итоге сама становится отходом.

Ключевые слова: Индустрия 4.0; окружающая среда; отходы; интернет вещей; цифровые технологии; искусственный интеллект

Введение

В современных условиях экономического роста стран неуклонно увеличивается и количество образующихся отходов производства и потребления. Ожидается, что к 2050 году количество отходов возрастет до 3,4 млрд т в год [1].

В Российской Федерации также наблюдается динамика роста образующихся отходов производства и потребления, что представлено на рисунке 1.

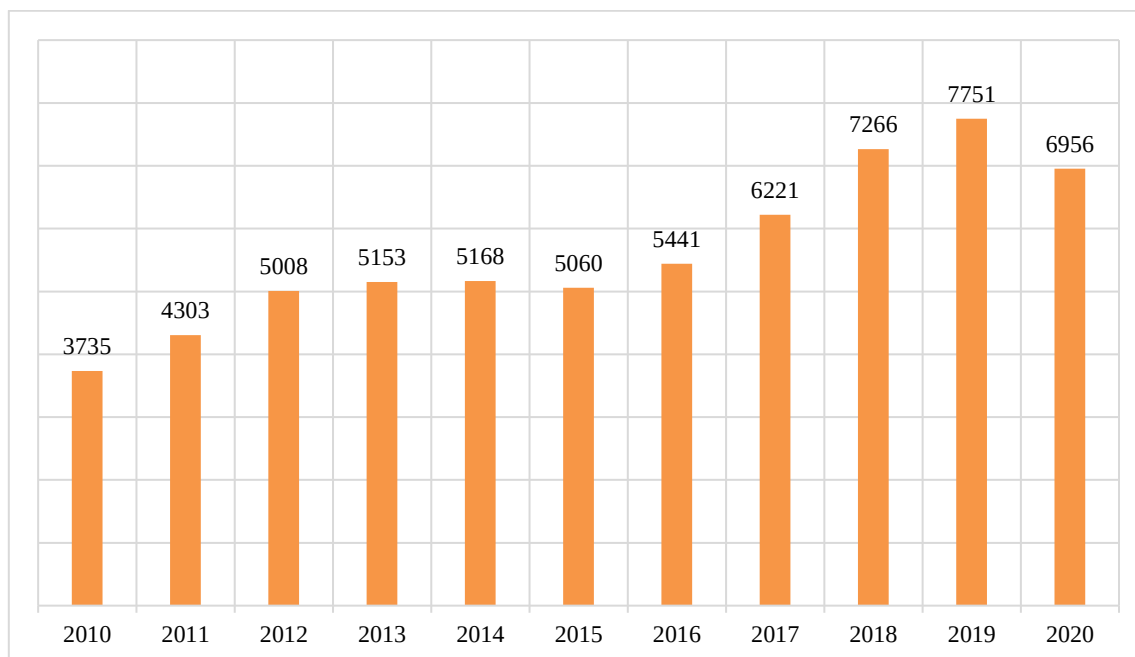


Рисунок 1. Динамика показателей объема образования отходов производства и потребления в Российской Федерации, млн т (источник: данные Росприроднадзора)

Неэффективное управление такими объемами образующихся отходов приведет к резкому ухудшению состояния окружающей природной среды, снижению биоразнообразия и ухудшению здоровья людей. В связи с этим необходимо применять меры, направленные на

снижение количества образующихся отходов, а также их переработку и повторное использование.

В настоящее время в Российской Федерации наблюдается постепенный переход к переработке твердых коммунальных отходов (ТКО). Основные показатели в этой области представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные показатели в области организации обращения с отходами производства и потребления, в Российской Федерации, 2010–2020 гг.

Наименование показателя	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Количество установок по утилизации и переработке отходов производства (исключая мусороперерабатывающие и мусоросжигательные заводы и др.), ед.	20	47	34	28	25	24	29	93	26	21
Мощность установок по утилизации и переработке отходов производства (исключая мусороперерабатывающие и мусоросжигательные заводы и др.), тыс. т/год	360	322	1193	2123	499,5	28,3	1628,7	475,69	832,97	3904,2
Количество предприятий и полигонов по утилизации, обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных, бытовых и иных отходов, ед.	46	23	37	40	21	31	15	12	13	7
Мощность предприятий и полигонов по утилизации, обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных, бытовых и иных отходов, тыс. т/год	-	3098	3140	3319,9	3855,1	1499,7	820,1	516,74	35825,2	565,7

Источник: данные Росстата

Материалы и методы

В решении задач снижения количества образующихся отходов, а также их переработку перспективным является использование современных технологий, разрабатываемых в рамках концепции Индустрии 4.0. К ним можно отнести: роботизацию процессов сортировки отходов, интернет вещей, использование искусственного интеллекта и т. п. Конкретные примеры цифровых технологий, используемых в области обращения с отходами приведены в таблице 2.

Таблица 2

Примеры использования цифровых технологий в сфере обращения с отходами

Наименование технологии	Описание технологии	Пример
Роботизация	Автоматизация процесса сортировки позволяет получить определенные компоненты отходов высокой чистоты (более 90 %).	Роботы, способные идентифицировать и сортировать вторсырье и другие важные материалы с помощью систем распознавания изображений / ИК-сканирования / ночного видения при разборке сотовых телефонов / электроники и т. п.

Наименование технологии	Описание технологии	Пример
Искусственный интеллект и нейронные сети	Искусственный интеллект — использование нейронных сетей, основанных на анализе данных для решения проблем без явного программирования — используется для классификации и распознавания образов в контексте обращения с отходами, повышая эффективность сортировки.	Автономные, самоуправляемые мусоровозы.
Интернет вещей	Поскольку все больше и больше устройств подключается к Интернету или другим сетям, контейнеры с поддержкой датчиков могут собирать данные и передавать их в центр управления.	Интеллектуальные мусорные баки с системами идентификации, системами взвешивания, датчиками уровня, датчиками температуры, программным обеспечением для оптимизации логистики отходов.
Облачные вычисления	Хранение и обработка данных с датчиков и другие программные решения позволяют легко оптимизировать рабочие процессы и документировать сбои при сборе, сортировке отходов, а также при обнаружении отсутствия оплаты за сбор отходов.	Облачное программное обеспечение может использоваться для: - подключения, стандартизации и оптимизации внутренних процедур в сфере управления отходами; - управления заказами в режиме реального времени, планирования и оптимизации маршрутов, самообслуживания клиентов, отслеживания и оценки заказов.
Анализ данных	Обработка и анализ данных играют важную роль в сфере обращения с отходами, выявляя закономерности и тенденции, извлекая необходимую информацию. Эти знания важны для оценки различных вариантов перехода к циркулярной экономике.	Использование транспортных средств для сбора отходов с электронной поддержкой. Оценка информации с датчиков автоматизированных сортировочных установок. Контроль установок по сжиганию отходов. Сбор данных на свалках с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Составлено авторами

Исследование

Стоит отметить, что в настоящее время нарастает тенденция применения цифровых технологий практически во всех сферах обращения с отходами [2–8]. Одним из первых процессов, преобразованных в рамках технологий Индустрии 4.0 стала логистика — процесс организации, планирования и диспетчеризации задач. Информационные технологии в сфере логистики управления отходами предполагают совершенствование процесса путем хранения, обработки, анализа и оптимизации необходимой информации в режиме реального времени.

С увеличением объема получаемой информации возрастает и сложность ее обработки. В этом случае возникает необходимость применения алгоритмов оптимизации, способных подобрать наиболее оптимальные варианты распределения ресурсов (рабочая сила, транспортные средства) в условиях их ограниченности. Яркими примерами применения алгоритмов оптимизации является специальное программное обеспечение для маршрутизации транспортных средств, а также системы планирования ресурсов предприятия. Все это позволяет увеличить эффективность работы предприятий по сбору и утилизации отходов [9–11].

Еще одним ярким примером технологий Индустрии 4.0 является интернет вещей. Касаясь сферы обращения с отходами сюда можно отнести «умные бункеры» (с системами

взвешивания, датчиками уровня, датчиками температуры и т. п.) и полуавтономные транспортные средства для сбора отходов¹.

В дальнейшем описанные выше технологии должны преобразовать сферу обращения с отходами в соответствии с потребностями циркулярной экономики.

Еще одним процессом, затронутым в рамках цифровизации в области обращения с отходами, является документооборот. В этой сфере все еще продолжается планомерный переход от бумажных систем к цифровым, что в конечном счете должно повысить эффективность всех процессов обращения с отходами. Применяющиеся в этой области технологии включают цифровые идентификационные метки для контейнеров и мусорных баков, электронную обработку заказов, автоматическое выставление счетов на оплату, программные продукты для связи с потребителями, а также синхронизацию предприятий по сбору отходов с соответствующими базами данных, в том числе базами данных государственных структур для оперативного формирования отчетности по вопросам обращения с отходами [12–15].

Описанные технологии также могут использоваться с целью получения информации по образующимся отходам и от физических лиц. Проанализированная информация в дальнейшем может быть использована для развития циркулярной экономики в связи с лучшим пониманием пространственных и временных моделей образования отходов².

Следующим процессом, который может быть трансформирован в области обращения с отходами в рамках концепции Индустрии 4.0 является сортировка отходов. В данной области цифровизация позволит уменьшить трудозатраты путем значительного сокращения ручного труда. Также использование современных технологий в процессе сортировки отходов позволит в дальнейшем осуществлять переработку отходов на более качественном уровне. В данном процессе могут применяться автоматические сортировщики с поддержкой распознавания цифровых маркеров, расположенных на продуктах (водяные знаки, QR-коды и т. п.), которые в свою очередь предоставляют информацию о составе материалов продукта, облегчая извлечение ценного сырья [16; 17].

Автоматические сортировщики также могут собирать и анализировать информацию об отсортированных отходах, дополнительно оптимизируя последующие процессы. Полученные данные в дальнейшем могут использоваться для прогнозирования структуры поступающих отходов, а также изучения эффективности сортировки с целью улучшения настроек сортировочных линий.

Цифровизация в области обращения с отходами также может выступать как средство стимулирования раздельного сбора отходов среди населения. Например, использование системы «Pay-as-you-throw» (плати за то, что выбрасываешь) в рамках цифровой трансформации становится более эффективным в связи с применением методов цифровой идентификации. Система «Pay-as-you-throw» подразумевает выставление счета в зависимости от количества образующихся отходов для каждого человека. Однако, следует отметить, что использование подобного рода систем может столкнуться и с негативными последствиями: увеличение несанкционированных свалок, использование общественных контейнеров и т. п. В этом случае внедрение данных систем должно сопровождаться мероприятиями экологического просвещения и воспитания среди населения.

¹ <https://www.infopulse.com/case-studies/waste-management-chatbot-for-environmental-organisation/>.

² <https://www.iswa.org/blog/new-publication-on-the-future-of-the-waste-management-sector/?v=f9308c5d0596>.

Еще одной перспективной разработкой в области обращения с отходами является использование системы QR-кодов и чипов на упаковках различных товаров. С помощью данных технологий производитель или потребитель смогут отслеживать весь жизненный цикл образующихся отходов: с момента нанесения соответствующего кода на упаковку, до момента переработки этой упаковки. Кроме того, потребителю могут приходить оповещения о переданных им на переработку отходах, а также о сэкономленных при этом ресурсах. Данная технология позволит потребителям тщательнее подходить к процессу сортировки образующихся отходов [18–20].

Отрасль обращения с отходами является одной из самых высококонкурентных отраслей и постоянно испытывает давление с целью снижения затрат. Внедрение цифровых технологий в данный сектор требует достаточно больших инвестиций. Однако в перспективе предполагается увеличение эффективности работы сектора обращения с отходами.

Можно выделить ряд экономических, социальных и технологических барьеров, с которыми сталкивается отрасль обращения с отходами. Основные движущие силы, препятствия, а также возможности процесса цифровизации представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Основные движущие силы, препятствия
и возможности цифровизации отрасли обращения с отходами**

Движущие силы	Барьеры	Возможности
Увеличение количества образующихся отходов	Большие инвестиционные затраты	Расширенная ответственность производителей
Ожидания потребителей	Вопросы обеспечения безопасности	Переход к циркулярной экономике
Ценовое давление	Отсутствие цифровой экосистемы	
Урбанизация	Отсутствие цифровой грамотности у населения	
Климатический кризис		
Бизнес-модели		

Составлено авторами

Говоря о цифровизации отрасли обращения с отходами, нельзя не отметить и отрицательные аспекты:

1. Увеличение использования энергии. Развитие и поддержка цифровых технологий требуют значительных затрат энергии.
2. Использование ресурсов для производства инфраструктуры, вычислительных машин, различных роботов и других устройств.
3. Вся инфраструктура имеет жизненный цикл, после чего сама становится отходом.

В настоящее время проводятся дополнительные исследования и расчеты для сравнения экологической выгоды и предполагаемых последствий при реализации технологий Индустрия 4.0 в сфере обращения с отходами.

Выводы

Цифровые технологии можно найти на всех этапах процесса управления отходами, причем некоторые из них уже широко используются. Однако нынешняя ситуация в России неоднородна, и различные регионы внедряют и используют данные технологии в различных масштабах.

Технологии Индустрии 4.0 улучшают переработку отходов, облегчая использование вторсырья производителями, позволяют потребителям рационально подходить к использованию ресурсов и сортировке образующихся отходов.

Текущий этап развития цифровизации в области обращения с отходами находится в фазе инноваций: предлагаются новые бизнес-модели, современное программное обеспечение и т. п.

Таким образом, цифровую трансформацию отрасли обращения с отходами следует согласовывать с планами по внедрению цифровых технологий с целью развития циркулярной экономики в стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатъев О.В. Будущее отрасли обращения с отходами: тенденции, возможности, вызовы [Текст] / О.В. Игнатъев // ТБО — обращение с отходами. — 2021. — С. 8–13.
2. Никифорова Т.И. Использование цифровых технологий при обращении с отходами в ЖКХ и строительном производстве [Текст] / Никифорова Т.И., Нижальская Н.И. // Финансовая экономика. — 2020. — № 5. — С. 405–407.
3. Рыбкина Ю.В. Анализ программных и технических средств для структурно-функционального моделирования в природоохранной деятельности [Текст] / Рыбкина Ю.В., Иорданова А.В., Кирильчук И.О. // Сборник научных статей 4-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Наука молодых — будущее России». — 2019. — С. 78–81.
4. Энтин Л.М. Правовые триггеры цифровизации обращения РАО и ОЯТ на территории европейского союза [Текст] / Энтин Л.М., Лебедева Ю.В. Цифровое право. — 2022. — Т. 3. — № 1. — С. 32–43.
5. Kinnaman T.C. The economics of municipal solid waste management [Текст] / Kinnaman, T.C. // Waste Management. — 2009. — С. 2615–2617.
6. Andrae A., Edler T. On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. — P. 117–157. URL: <https://doi.org/10.3390/challe6010117>.
7. Кирильчук И.О. Разработка автоматизированной информационной системы управления логистикой коммунальных отходов [Текст] / Кирильчук И.О., Гнездилова А.В. // Сборник научных трудов 6-й Международной научно-практической конференции «Техника и технологии: Пути инновационного развития». — 2017. — С. 63–67.
8. Колесников Р.В. Совершенствования статистического обеспечения деятельности по управлению твердыми коммунальными отходами с использованием процессов цифровизации [Текст] / Колесников Р.В. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. — 2021. — № 4. — С. 131–141.
9. Чалганова А.А. Направления цифровой трансформации сферы обращения твердых бытовых отходов [Текст] / Чалганова А.А. // Сборник статей I Всероссийской научно-практической конференции «Вызовы цифровой экономики: условия, ключевые институты, инфраструктура». — 2018. — С. 187–189.

10. Владимиров Д.Г. Управление отходами «умного города» с помощью технологических интеллектуальных систем [Текст] / Владимиров Д.Г., Воротников А.М., Ипатова Н.С., Тарасов Б.А. // Журнал исследований по управлению. — 2018. — Т. 4. — № 9. — С. 86–91.
11. Phung C.G. Implications of the circular economy and digital transition on skills and green jobs in the plastics industry. Field Actions Science Reports. URL: <http://journals.openedition.org/factsreports/5498>. — 2019.
12. Вега А.Ю. Реализация цифровых технологий в организации переработки отходов на основе кластерного подхода [Текст] / Вега А.Ю., Ковальчук А.П., Милорадов К.А. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пространственное развитие территорий в условиях цифровизации: социо-эколого-экономические системы». — Грозный, 2020. — С. 87–91.
13. Kirilchuk I.O. Special aspects of assessing hazard to public health while monitoring the negative impact of solid municipal waste landfills. Kirilchuk I.O., Besedin A.V., Timofeev G.P., Iordanova A.V. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019th International Symposium on Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects. — 2019. — С. 012033.
14. Петров С.А. Использование ГИС-технологий в процессе комплексного регулирования твердыми коммунальными отходами [Текст] / Московский экономический журнал. — 2020. — № 2. — С. 9.
15. Платонова В.М. Применение информационных технологий в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами [Текст] / Платонова В.М. // Современный город: власть, управление, экономика. — 2021. — Т. 1. — С. 111–118.
16. Kirilchuk I. Information technologies for risk assessment to public health from emissions of municipal solid waste landfill. Kirilchuk I., Yushin V., Barkov A., Iordanova A. 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. — Sofia, 2020. — С. 455–462.
17. Волостнов А.В. Рынок технологий цифровой трансформации в сфере обращения с ТКО [Текст] / Волостнов А.В. // Твердые бытовые отходы. — 2018. — № 12(150). — С. 26–27.
18. Попов В.М. Исследование эффективности использования информационных технологий в системе управления техносферной безопасностью [Текст] / Попов В.М., Юшин В.В., Иорданова А.В., Трифонов А.П. // Известия Юго-Западного государственного университета. — 2019. — Т. 23. — № 6. — С. 241–255.
19. Frank Siqueira, Joseph G. Davis. Service Computing for Industry 4.0: State of the Art, Challenges, and Research Opportunities. // ACM Comput. Surv. 54, 9. — 2021. — 38 p. <https://doi.org/10.1145/3478680>.
20. Tanveer A., Hongyu Z., Dongdong Z., Rasikh T., Bassam A. Energetics Systems and artificial intelligence: Applications of industry 4.0 // Energy Reports. — V. 8. — 2022. — P. 334–361.

Iordanova Anastasia Vladimirovna

Southwest State University, Kursk, Russia

E-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7780-497X>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=950648

Yushin Vasily Valer'evich

Southwest State University, Kursk, Russia

E-mail: otios@mail.ru

Podkolzin Pavel Leonidovich

Southwest State University, Kursk, Russia

E-mail: pawel.podkolzin1999@gmail.com

Gladilin Daniil Evgen'evich

Southwest State University, Kursk, Russia

E-mail: danilglados@gmail.com

Prospects for the development of the waste management industry within the framework of the Industry 4.0 concept

Abstract. The article is devoted to the analysis of the potential development opportunities of the waste management industry with the introduction of digital technologies. The main technologies already developed, as well as promising research in this industry are considered: robotics, artificial intelligence and neural networks, the Internet of Things, cloud computing, data analysis. Specific examples of the use of the described technologies in the field of waste management, their advantages and disadvantages are given.

The authors analyzed waste management processes that are transformed within the framework of the Industry 4.0 concept: logistics of solid municipal waste (MSW), document management in MSW management and the process of sorting waste coming from enterprises and the population. The analysis of the main driving forces and barriers to the development and implementation of Industry 4.0 technologies in the field of waste management is presented. It is revealed that the main driving forces are: an increase in the amount of waste generated, consumer expectations, price pressure, urbanization, climate crisis, business models. The main barriers are: large investment costs, security issues, the lack of a digital ecosystem and the lack of digital literacy among the population.

In addition, the article discusses the possible consequences of the use of digital technologies in the field of waste management. These consequences are primarily associated with an increase in energy consumption in order to create and develop digital technologies, as well as the use of additional resources for the production of infrastructure, computers, various robots and other devices. Important is the fact that any infrastructure has a life cycle, and eventually becomes a waste itself.

Keywords: Industry 4.0; environment; waste; Internet of things; digital technologies; artificial intelligence