

ЛОГИСТИКА СБОРА И УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ, КАК ЭЛЕМЕНТ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Вакуленко С.П.¹, Ефимова Е.А.¹, Коновал И.А.¹.

¹ Российский университет транспорта

Аннотация: В результате стремительного роста городских агломераций, наблюдаемого в последние десятилетия, объемы твердых коммунальных отходов (ТКО) значительно возросли. Этот рост стал одной из наиболее актуальных экологических проблем, с которыми сталкиваются современные города. Основной причиной резкого увеличения объемов ТКО является существующая система обращения с ТКО, ориентированная на постоянное потребление. Люди стали производить все больше отходов, тогда как производственные мощности по утилизации в большинстве случаев оказываются недостаточными. В таких условиях привычные методы утилизации отходов, в первую очередь захоронение на свалках, становятся неэффективными и даже опасными. Поэтому, важно обратить внимание на разработку нового механизма обращения с отходами, нацеленного на переход от захоронения отходов к переработке. В статье предложен вариант системы, целью которой является сортировка отходов и транспортировка вторсырья железнодорожным транспортом к удаленным объектам переработки и оптимизация логистического процесса, который позволит увеличить эффективность сбора и утилизации ТКО, снизить негативное влияние на окружающую среду и обеспечить устойчивое развитие экономики. [7] Дальнейшие исследования и практическое применение предложенных подходов могут значительно улучшить ситуацию в области обращения с отходами.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, ТКО, логистическая система, оптимизация логистики сбора и утилизации ТКО, мусоросортировочный комплекс.

© Вакуленко С.П., Ефимова Е.А., Коновал И.А.

Поступила 20.01.2025, одобрена после рецензирования 22.02.2025, принята к публикации 22.02.2025.

Для цитирования:

Вакуленко С.П., Ефимова Е.А., Коновал И.А. Логистика сбора и утилизации твердых коммунальных отходов, как элемент экономики замкнутого цикла // Логистика и управление цепями поставок. - 2025. - Т. 22, №1 (114). - С. 4–19.

Вакуленко С.П., к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы», Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)). e-mail: post-iuit@bk.ru

Ефимова Е.А. аспирант кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), E-mail: davydova.evgeniya.99@bk.ru.
Коновал И.А. к.т.н., доцент кафедры «Химия и инженерная экология», Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), e-mail: konovalinna@yandex.ru.

Введение

Существующая система обращения с отходами в Российской Федерации в значительной степени зависит от постоянного и непрекращающегося процесса производства и потребления. Эта система организована таким образом, что ресурсы, изначально использованные в производстве, не возвращаются обратно в цикл. Вместо этого они проходят линейный путь: сначала извлекаются из природной среды, затем используются для создания товаров и услуг, после чего теряют свою потребительскую ценность и в конечном

итоге утилизируются. Такой подход к управлению ресурсами приводит к негативным последствиям, включая значительное увеличение объемов твердых коммунальных отходов (ТКО). В текущий момент, несмотря на растущие объемы этих отходов, производственные мощности, предназначенные для их обработки и утилизации, оказываются недостаточными для эффективного решения данной проблемы. Это создает серьезные вызовы для экологии и требует пересмотра подходов к обращению с отходами в стране. [1, 12].

Состояние и перспективы управления ТКО в России

Согласно данным Минприроды России за 2023 год жителями страны было образовано около 47,2 млн. тонн твердых коммунальных отходов (далее – ТКО), а среднестатистический россиянин оставил после себя 322,3 кг мусора, что на 3,1%, (или на 9,7 кг) больше, чем в прошлом году. Общее количество образующихся коммунальных отходов в первую очередь связано с численностью населения

на определенной территории. [10] В то время же количество ТКО на душу населения в разных регионах может значительно варьироваться, что зависит от уровня потребления, и экологической ответственности. На рисунках 1, 2 представлены регионы с наибольшей и наименьшей массой ТКО на душу населения в 2023 г

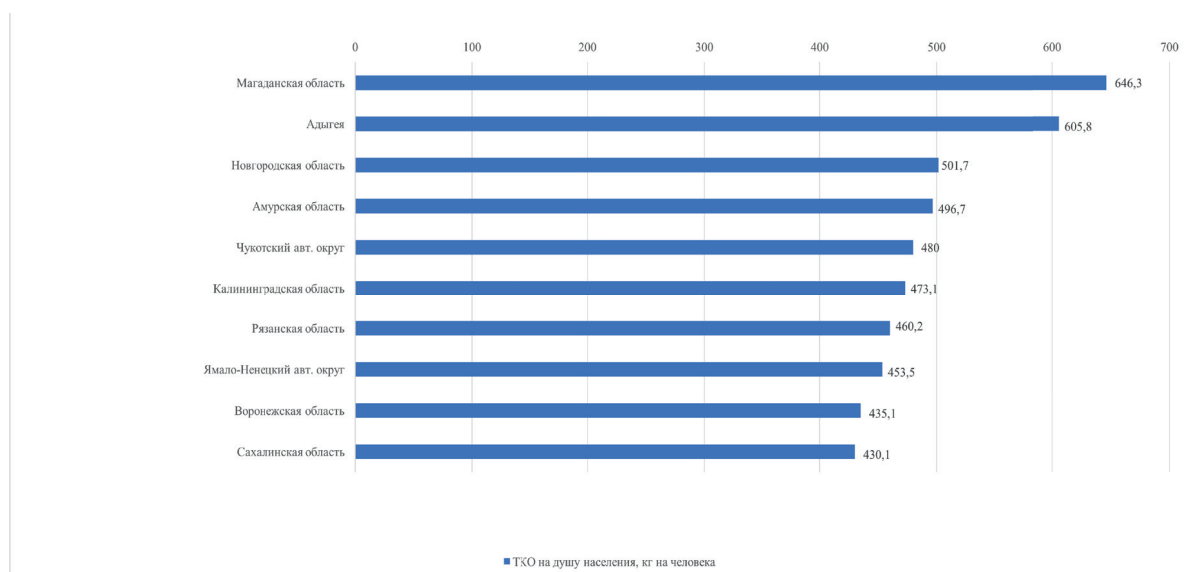


Рисунок 1. Регионы с наибольшей массой ТКО на душу населения в 2023 г., кг на человека.

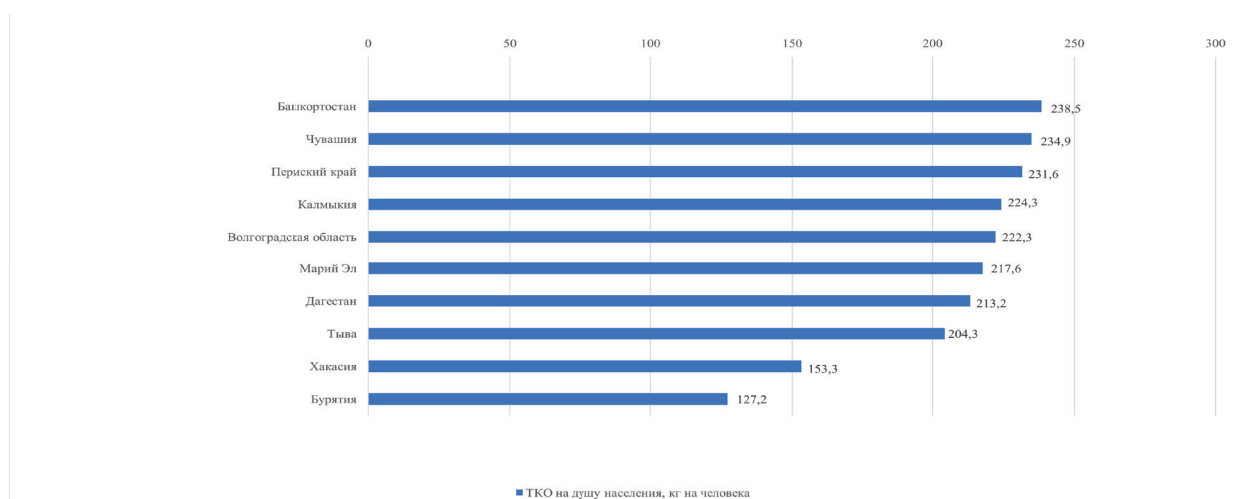


Рисунок 2. Регионы с наименьшей массой ТКО на душу населения в 2023 г., кг на человека.

Московский регион занимает 12-е место по количеству коммунальных отходов на душу населения, где среднее количество мусора составляет 410 кг в год на одного жителя Москвы и области. Однако, самые густонаселенные регионы закономерно производят наибольшее количество коммунальных отходов. На Московскую агломерацию приходится порядка 20% всех твердых коммунальных отходов в стране (18,9%).

Согласно пункту 5 указа Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» национальной цели «Экологическое благополучие» подпункту «а» поставлена цель: «формирование экономики замкнутого цикла, обеспечивающей к 2030 году сортировку 100 % объема ежегодно образующихся твердых коммунальных отходов, захоронение не более чем 50 % таких отходов и вовлечение в хозяйственный оборот не менее чем 25 % отходов производства и потребления в качестве вторичных ресурсов и сырья» [2, 8, 13]. На текущий момент из 800 полигонов России у 78% превышены нормы накопления и сроки эксплуатации. [14] Основным направлением реформы является отказ от захоронения отходов на полигонах и развитие технологий по переработке и утилизации мусора на специализированных предприятиях. Во исполнение указа был создан национальный проект «Экология», который предусматривает создание более 200 объектов для сортировки, обработки и утилизации отходов, соответствующих

современным требованиям. До 2030 года в стране запланировано строительство или реконструкция более 868 объектов обращения с отходами. Согласно данным «Российского экологического оператора» в рамках проекта уже введено в эксплуатацию более 211 объектов обращения с твердыми коммунальными отходами, в числе которых 122 объекта обработки, более 49 объектов утилизации, около 10 – размещения и 30 – комплексных [3].

Дальнейшая успешная реализация проекта возможна лишь при организации четкого последовательного процесса по обращению с отходами во всей стране, который предусматривает вопрос транспортировки отходов к местам утилизации, удаленных от населенных пунктов, ввиду сложности технологического процесса по обезвреживанию отходов и возможной опасности для населения. [9] Особенно остро вопрос обращения с ТКО стоит в Московском регионе, на который приходится 1/5 часть всех отходов России.

На данный момент наиболее распространенным способом обезвреживания коммунальных отходов является складирование его на полигонах. Однако, из 45 полигонов в регионе действует лишь 1 (31 закрыт, 12 рекультивируется, 1 строится), а существующие станции мусоросортировки не справляются с объемами отходов. Более того, действующий мусоросжигательный завод [11], способен сжигать лишь до 360 тыс. тонн мусора в год,

в результате почти весь мусор отправляется на действующий полигон или в соседние регионы, и если с органикой существующие

полигоны способны справиться, минимально воздействуя на окружающую среду, то для

утилизации остального объема ТКО необходимо найти решения. [2].

Разработка системы обращения с отходами

В 2020 году региональный оператор «Хартия» предложил масштабную инициативу по строительству крупного мусоросортировочного комплекса в подмосковном Щелково. В Москве «Хартия» отвечает за вывоз ТКО с Северо-Восточного и Восточного округов, поэтому при выборе места размещения основными критериями были удаленность от жилых застроек и близость к районам сбора отходов. Данный выбор места размещения и наличие развитой железнодорожной сети в городе позволяет рассмотреть на его примере организацию логистики сбора и утилизации твердых коммунальных отходов с СВАО и ВАО с применением железнодорожного транспорта. Зону для участков размещения комплексных объектов переработки вторсырья стоит выбирать не только с учетом удаленного размещения от городской застройки, но и с учетом соблюдения санитарно-гигиенических требований и нанесения минимального вреда природным условиям [4]. Одним из наиболее заметных преимуществ железнодорожного транспорта является его высокая провозная способность. Это означает, что за один рейс можно перевезти значительное количество грузов, что особенно актуально для таких крупных объемов, как твердые коммунальные отходы в крупных агломерациях. Еще одним очевидным плюсом является низкая себестоимость. Перевозки по железной дороге на удаленные расстояния, как правило, оказываются более экономичными по сравнению с другими видами транспорта, такими как автотранспорт за счет больших объемов транспортировки. Важно также подчеркнуть технологичность железных дорог. Современные технологии

организации движения поездов обеспечивают высокий уровень безопасности и надежности {при транспортировке разнообразных грузов, включая опасные и загрязняющие} который делает железнодорожный транспорт наиболее эффективным для перевозки ТКО. Средний вес одного брикета вторсырья после прессования около 1 тонны, максимальный вес загрузки мусоровоза 6-12 тонн (в зависимости от вида), в то время как грузоподъемность, например, полувагона – порядка 69 тонн. Высокая экологичность железнодорожного транспорта не может остаться без внимания. По сравнению с автомобильным транспортом, железнодорожные грузоперевозки оказывают значительно меньшее воздействие на окружающую среду. Они производят меньше углеродных выбросов и потребляют более эффективные энергетические ресурсы, что делает их привлекательными в контексте устойчивого развития и экологической ответственности. [5].

Система управления твердыми коммунальными отходами (ТКО) может быть организована по следующему принципу: мусоровозы, принадлежащие региональному оператору, который в данном случае представляет собой компанию «Хартия», после завершения сбора отходов с контейнерных площадок направляются на сортировочную станцию. Эта станция должна быть расположена в непосредственной близости к железнодорожной станции, для удобства погрузки. Для примера был выбран участок в непосредственной близости к железнодорожной станции Щелково в промышленной зоне на месте старых очистных сооружений, которые власти города планируют реконструировать (рисунок 3).

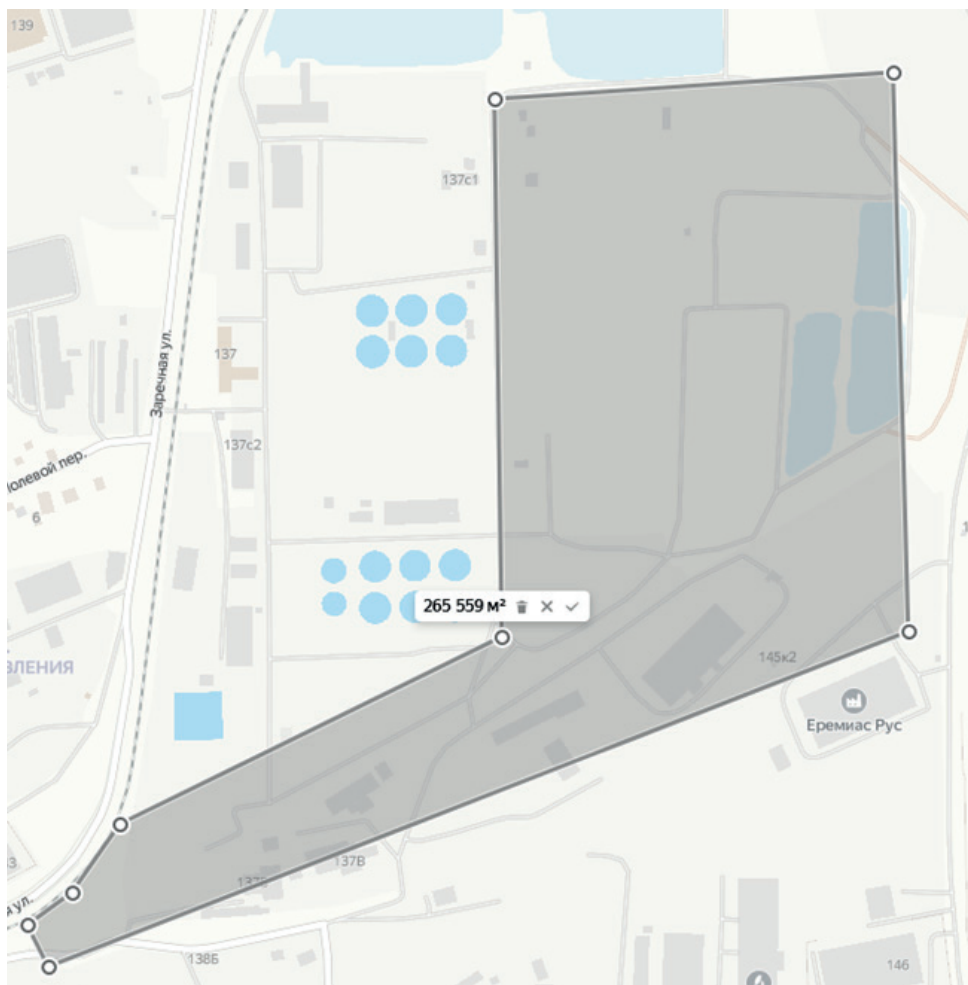


Рисунок 3. Место размещение мусоросортировочного завода.

Площадь территории, которая будет реконструирована, около 265 559 м², для организации транспортировки вторсырья железнодорожным транспортом необходимо:

- организация подъезда автомобильного транспорта;
- оборудование мусоросортировочного завода пресс-компакторами;
- организация площадок временного хранения брикетов вторсырья и контейнеров;
- оборудование ПРМ (погрузочно-разгрузочными механизмами);
- строительство путей необщего пользования для погрузки брикетов на подвижной состав;
- обеспечение бесперебойной работы всего комплекса.

Система работы такого комплекса может выглядеть следующим образом. Перед тем как пройти сортировку, мусоровозы проходят весовой и радиационный контроль, что является

необходимой мерой для обеспечения безопасности. На первом этапе работы, мусоровозы поступают в специально отведенную зону выгрузки отходов, где они ожидают своей очереди на разгрузку. Эта зона представляет собой герметичное складское помещение, что обеспечивает дополнительную безопасность и предотвращает распространение неприятных запахов. После завершения разгрузки, часть пустых автомобилей направляется на автомойку, а затем покидает комплекс. Остальные машины отправляются в зону погрузки органики. В зоне первичной сортировки происходит отделение органических материалов, которые впоследствии погружаются в мусоровозы и отправляются на полигоны региона для захоронения. На втором этапе системы сортировки отделяется вторичное сырье. Выгрузка отходов осуществляется на ленты приемного конвейера, где в первую очередь вручную отделяют крупногабаритный мусор, который может

помешать нормальному функционированию конвейера. Этот мусор помещается в специальные бункеры-накопители. Далее, с помощью вибрационных столов отделяется мелкая фракция мусора. Для извлечения металлических изделий используется магнитный сепаратор, который устанавливается непосредственно над лентой конвейера. С помощью ручной сортировки отходы разделяются на различные виды вторичного сырья. Полученные материалы, такие как бумага, пластик и металл, перемещаются по лентам в зону брикетирования, где они поступают на загрузочный конвейер прессы. В этой зоне мусор под воздействием давления, которое варьируется в зависимости от плотности материала, формируется в бри-

кеты. После процесса брикетирования, сформированные на прессовых установках кипы отправляются в зону для их складирования, откуда проходит дальнейшая перегрузка в полувагоны или контейнеры типа Open Top. Стекло же, в отличие от других отходов, ссыпается в специальные контейнеры непосредственно с сортировочной ленты и также перегружается на подвижной состав. Это необходимо для последующей транспортировки к месту утилизации, завершая полный цикл обращения с твердыми коммунальными отходами. [6, 15].

Проект схемы мусоросортировочного комплекса вблизи железнодорожной станции представлен на рисунке 4.

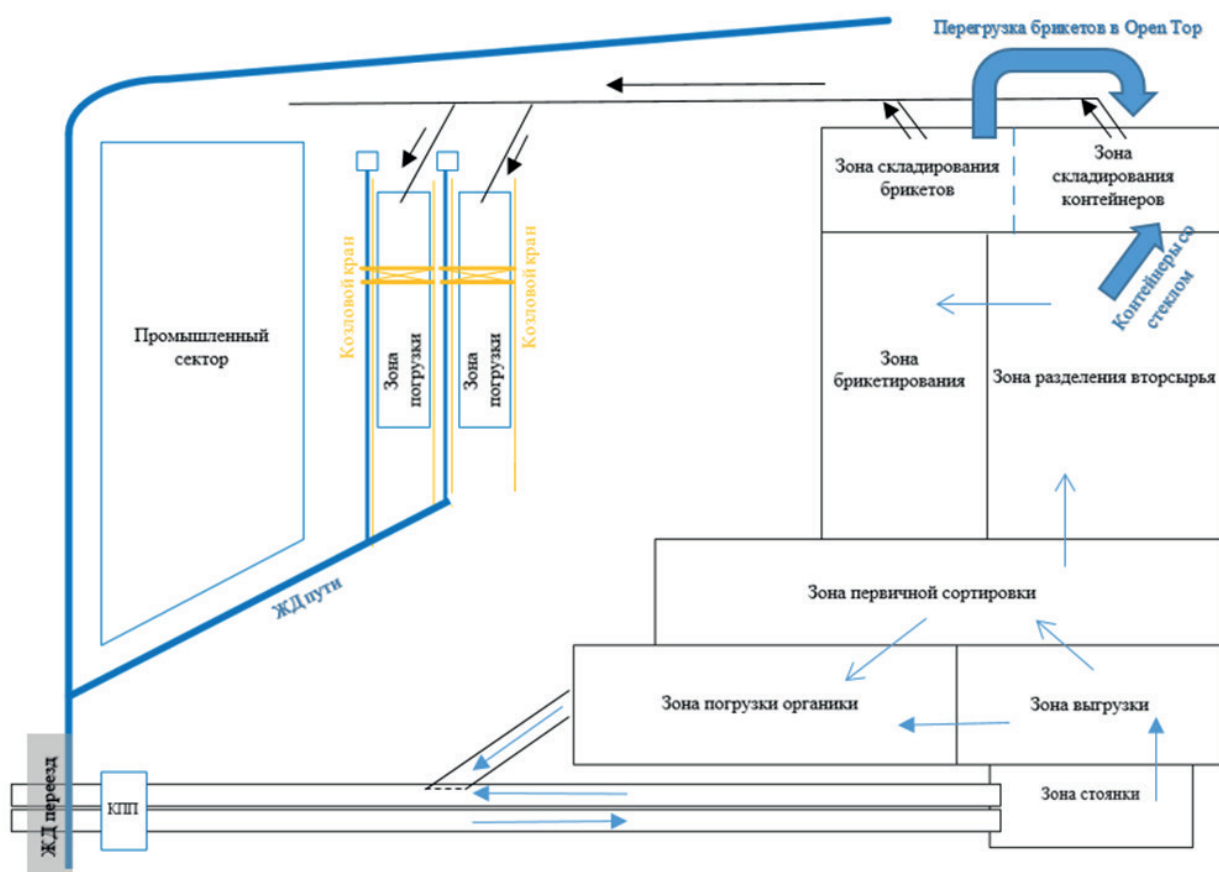
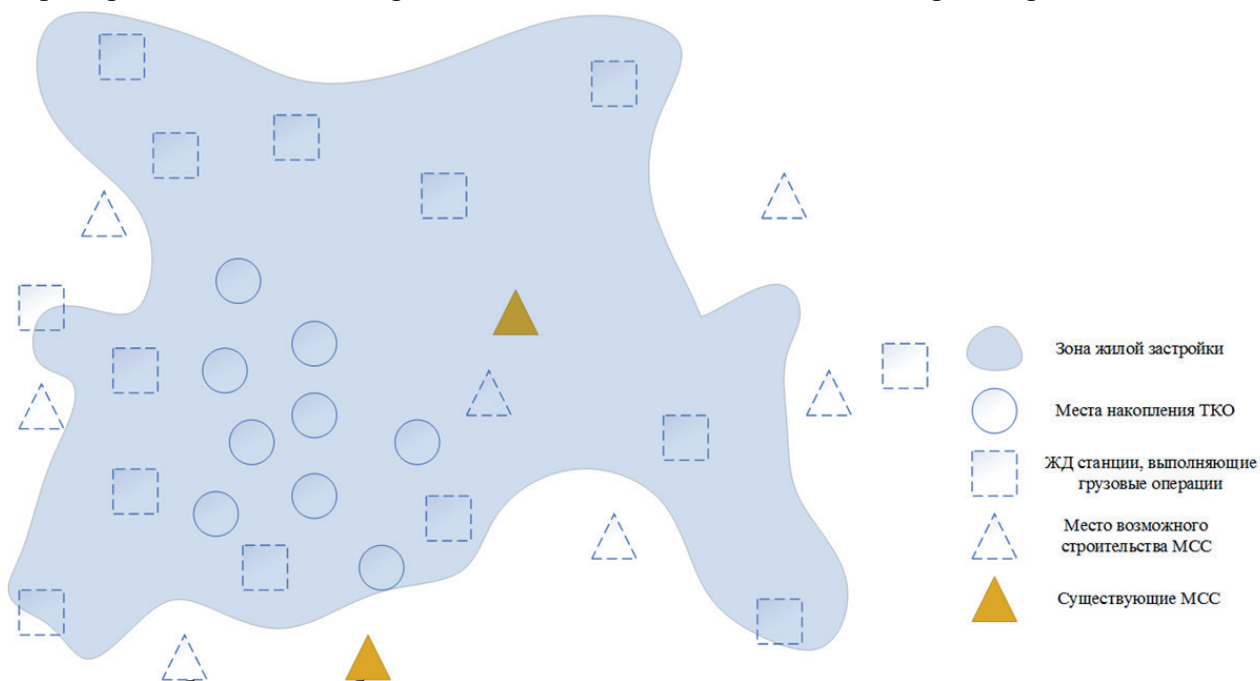


Рисунок 4. Проект схемы мусоросортировочного комплекса вблизи железнодорожной станции.

В общем виде для определения станции или станций, необходимых для вывоза большого объема отсортированного ТКО, предназначенного для повторной переработки на удаленных объектах, необходимо последовательно определить железнодорожные станции и мусоросортировочные станции (МСС). К железнодорожным станциям должны примы-

кать грузовые дворы, на которых возможна погрузка брикетированного ТКО. При недостаточной производственной мощности МСС необходимо обосновывать решения по местам размещения новых МСС. Общий принцип работы алгоритма визуально можно представить на рисунке 5.

а – пример исходной схемы обращения с ТКО без использования жд транспорта.



б – пример отображения работы алгоритма.

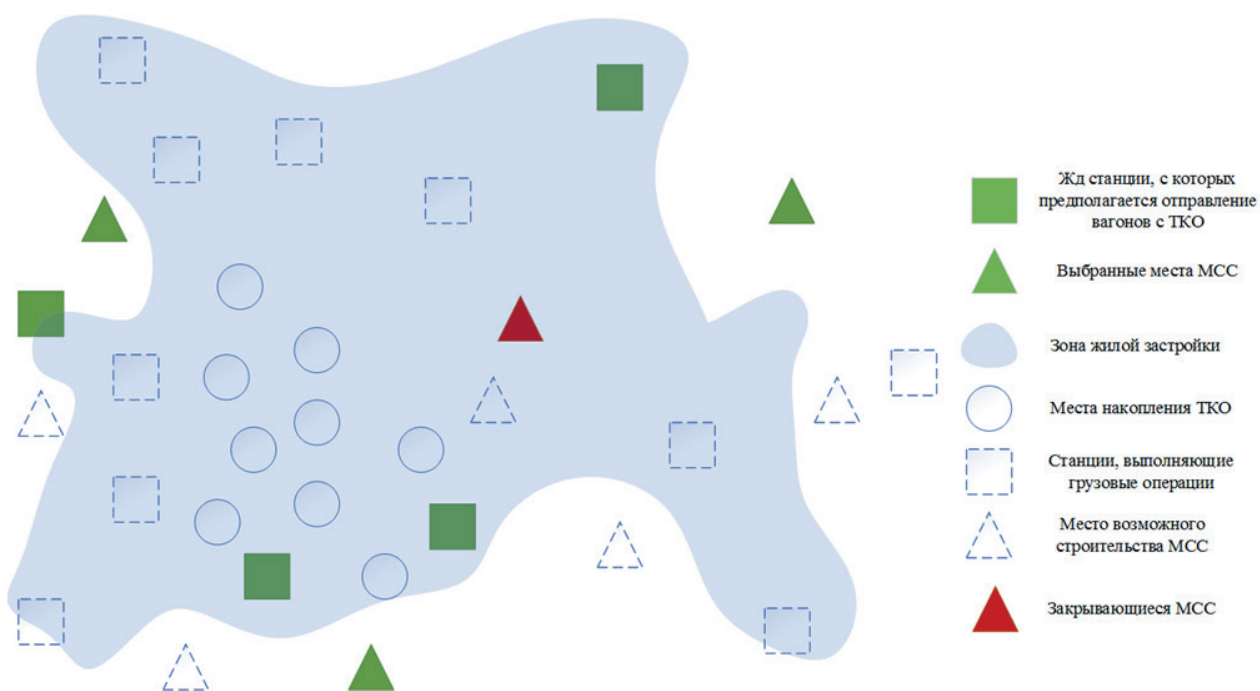


Рисунок 5. Пример работы алгоритма по выбору станций и мусоросортировочных комплексов для перевозки ТКО с использованием железнодорожного транспорта.

Структурно алгоритм представлен на рисунках 6–7.

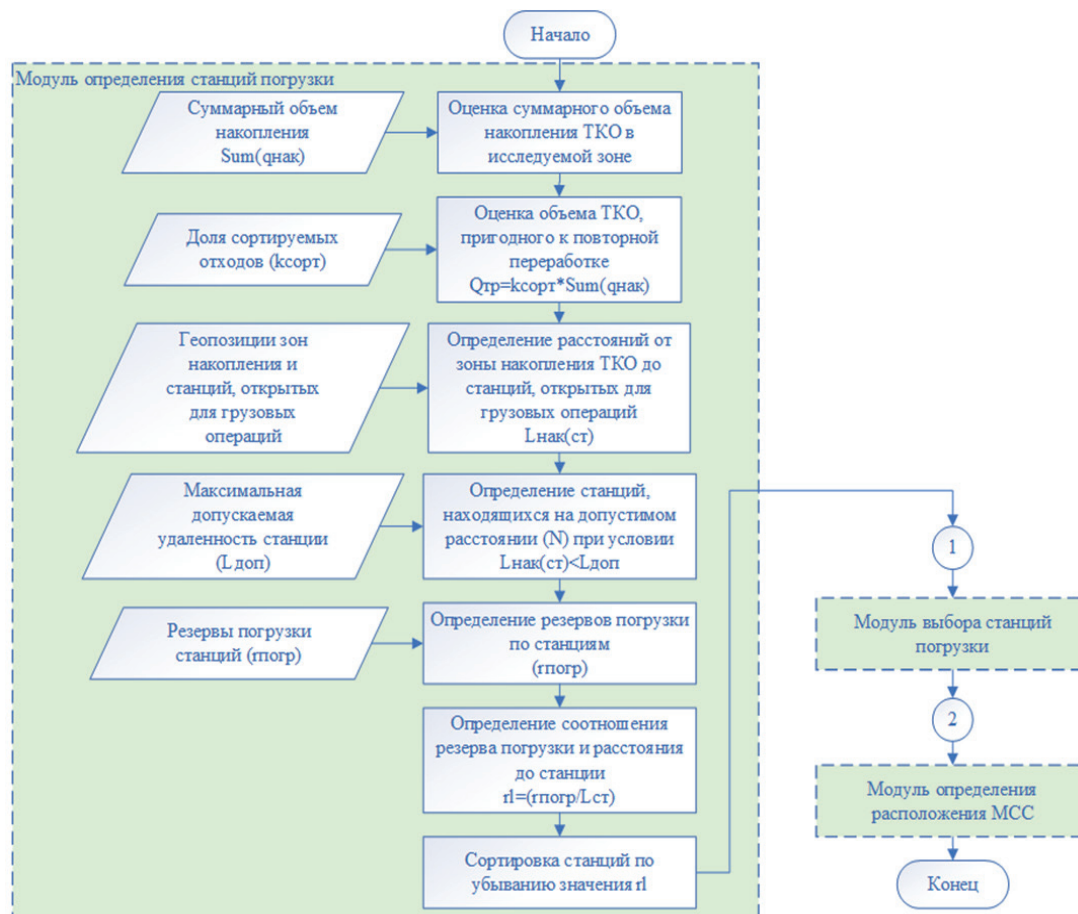


Рисунок 6. Общая блок-схема реализации алгоритма определения жд станций и МСС.

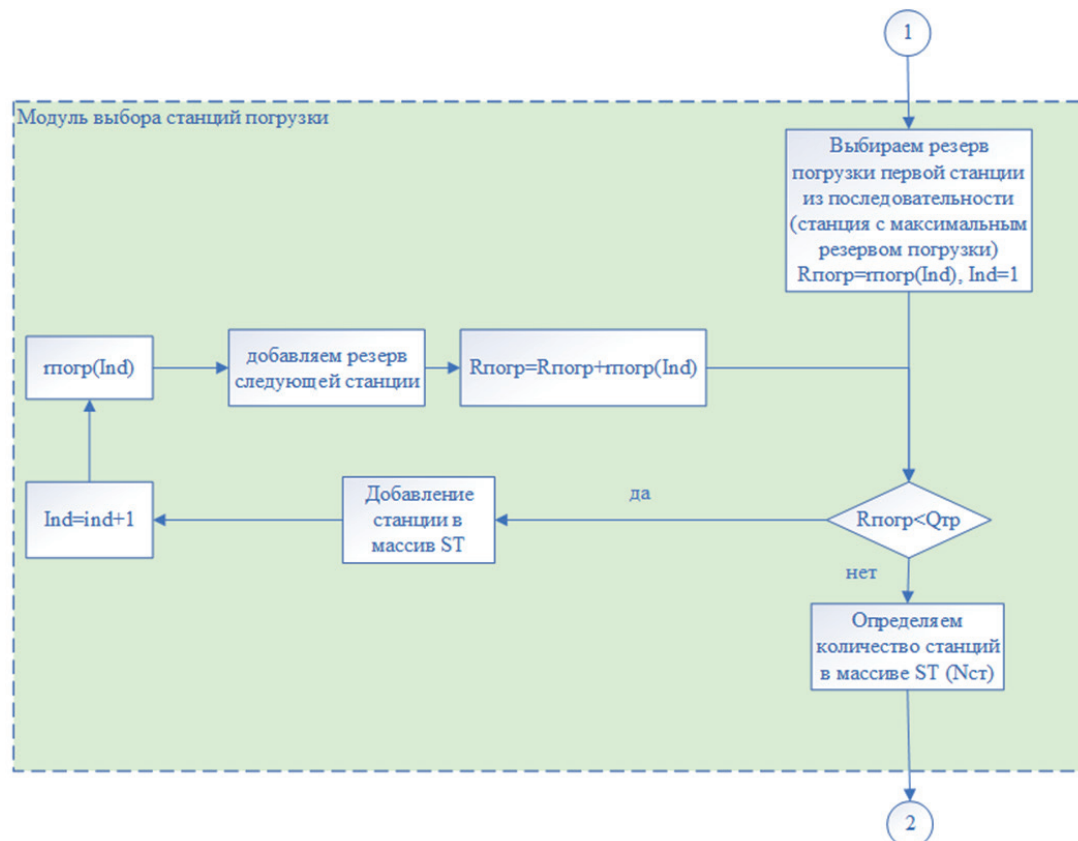


Рисунок 7. Модуль выбора станций погрузки.

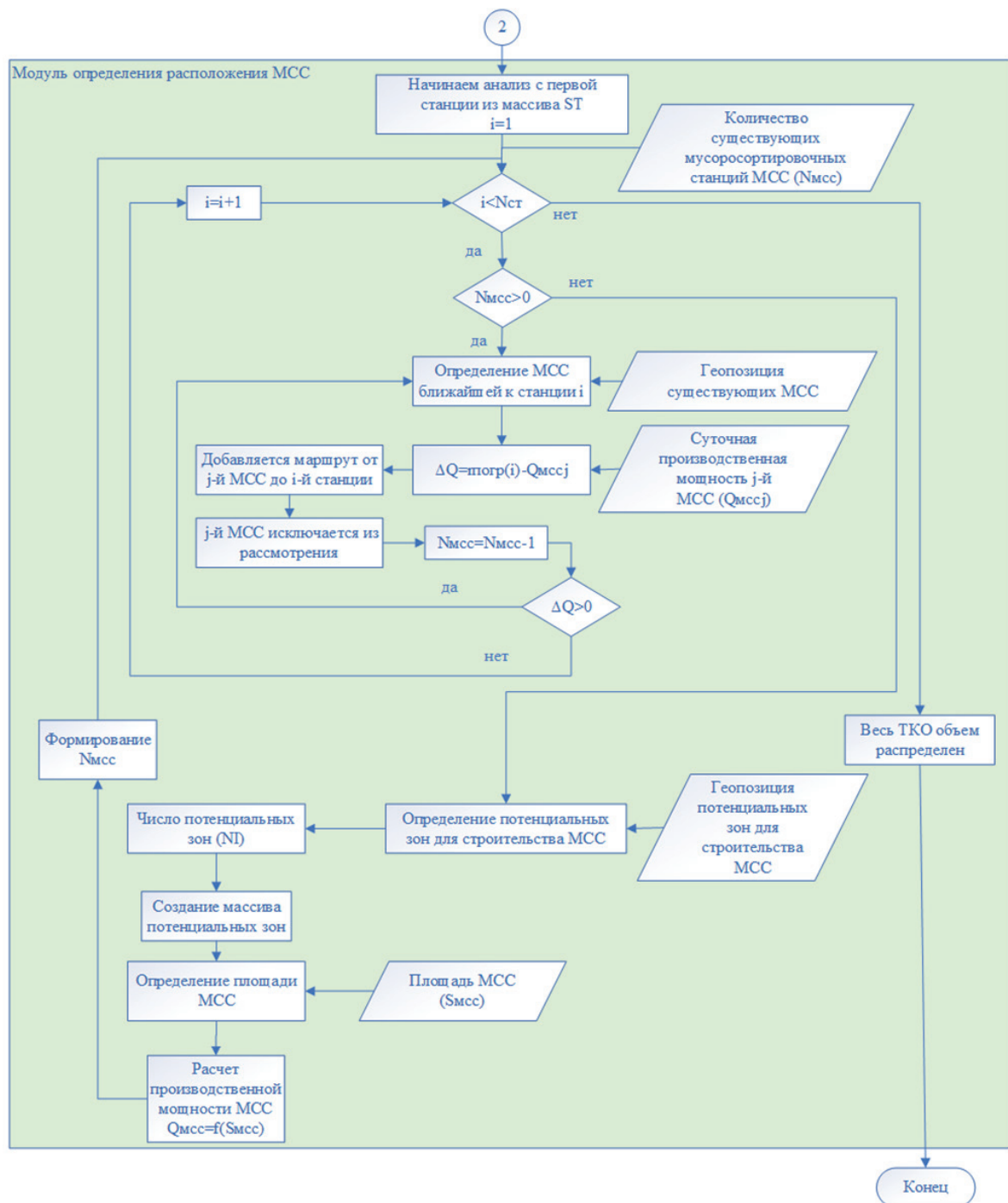


Рисунок 7. Модуль определения расположения MCC.

Предложенная концепция системы обращения с отходами открывает не только более широкий спектр возможностей в выборе зон для их размещения, но и приносит значительные финансовые преимущества. Экономическая эффективность железнодорожного транспорта, как известно, возрастает пропорционально увеличению дальности перевоз-

ок, что делает этот вид транспорта особенно привлекательным для реализации проектов по утилизации отходов. Важно отметить, что такой вид перевозки может также приносить дополнительный доход за счет обратного рейса, что лишь укрепляет экономическую целесообразность решения.

Заключение

Ключевым логистическим аспектом в данной системе должно стать создание четкой и хорошо организованной структуры обращения с отходами, которая бы обеспечивала эффективное управление всеми процессами. Это включает в себя формирование обширной экологической политики, направленной на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Также следует учитывать роль

государственного контроля, который необходим для обеспечения соблюдения всех норм и стандартов в сфере обращения с отходами, что позволит гарантировать безопасность и эффективность системы в целом. Эффективное использование ресурсов и как следствие снижение негативного воздействия на окружающую среду, это и есть основной тезис экономики замкнутого цикла [1].

Список источников

1. Трофимова, Н. Н. Взаимосвязь концепций устойчивого развития и экономики замкнутого цикла / Н. Н. Трофимова // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2023. – № 2. – С. 247-249.
2. Лахметкина, Н. Ю. Проблема транспортировки твердых коммунальных отходов железнодорожным транспортом / Н. Ю. Лахметкина, Е. А. Давыдова // Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и оперативного управления: VI международная научно-практическая конференция, Ростов-на-Дону, 04–05 февраля 2022 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2022. – С. 100-102.
3. Лахметкина, Н. Ю. Оптимальные решения транспортировки ТКО / Н. Ю. Лахметкина, Е. А. Давыдова // Инновационные производственные технологии и ресурсосберегающая энергетика: Материалы международной научно-практической конференции, Омск, 08–09 декабря 2021 года. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 42-49.
4. Лавров, В. В. Формирование городской системы обращения с твердыми коммунальными отходами / В. В. Лавров // Вестник Российской академии естественных наук (Санкт-Петербург). – 2010. – № 3. – С. 81-85.
5. Московский транспортный узел: перспективы развития / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Д. Ю. Роменский [и др.] ; Российский университет транспорта (МИИТ). Том Часть III. – Москва : Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 2020. – 208 с. – ISBN 978-5-902928-88-1.
6. Стародворская, А. Н. ТКО как груз для железнодорожного транспорта / А. Н. Стародворская // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 8. – С. 62-64.
7. Пономарев, М. В. Правовое регулирование охраны окружающей среды при обращении с отходами производства и потребления : специальность 12.00.06 «Земельное право; природоресурсное право; экологическое право; аграрное право» : диссертация на соискание ученой степени кандидата юридических наук / Пономарев Михаил Вячеславович, 2020. – 215 с. – EDN KIJJFW.
8. Осипов, В. С. Институциональное обеспечение экологического благополучия / В. С. Осипов // Проблемы теории и практики управления. – 2024. – № 5-6. – С. 6-22. – EDN LOYYXT.
9. Астратова, Г. В. К вопросу об обращении твердых коммунальных отходов / Г. В. Астратова, Е. М. Поливанная // Парадигмы управления, экономики и права. – 2022. – № 1(5). – С. 39-49. – EDN BOLPDY.
10. Азизов, М. К. Система обращения с отходами как основной элемент эколого-экономической устойчивости инфраструктуры городского хозяйства / М. К. Азизов, Е. А. Жидко // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2021. – № 1(43). – С. 74-79. – EDN NYVCRQ.
11. Мезенцев, И. Мусоросжигательные заводы: положительные и отрицательные аспекты / И. Мезенцев, Е. А. Жидко, П. С. Куприенко // Гражданская оборона и природно-технические системы : Сборник статей по материалам XVIII Международной научно-практической конференции, Воронеж, 24–25 марта 2022 года / Отв. редактор П.С. Куприенко. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2022. – С. 250-254. – EDN ERDXVS.
12. Управление отходами как важная составляющая экологической устойчивости инфраструктуры городского хозяйства / Е. А. Жидко, В. А. Попова, К. А. Кириянов, И. А. Захаренкова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2023. – № 1(51). – С. 45-50. – EDN PLAXQQ.
13. Яббарова, Р. И. Экономика замкнутого цикла в сфере обращения с отходами: порядок и результаты финансирования / Р. И. Яббарова // Юг России: экология, развитие. – 2024. – Т. 19, № 1(70). – С. 145-150. – DOI 10.18470/1992-1098-2024-1-15. – EDN WCBVAC.

14. Краева, С. А. Показатели экономики замкнутого цикла в системе обращения с твердыми коммунальными отходами / С. А. Краева // МОЛОДЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ в ОТВЕТ на СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 04 мая 2022 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2022. – С. 58-63. – EDN IYCSJB.

15. Сухоруков, А. И. Цифровое моделирование устойчивой системы управления городскими отходами / А. И. Сухоруков, Е. А. Захарова // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании : материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 115-летию РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, 08 апреля 2022 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова. – Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2022. – С. 271-276. – EDN JDILJB.

LOGISTICS OF COLLECTION AND DISPOSAL OF MUNICIPAL SOLID WASTE, AS AN ELEMENT OF THE CLOSED-CYCLE ECONOMY.

Vakulenko S.P.¹, Efimova E.A.¹, Konoval I.A.¹

¹ Russian University of Transport

Abstract: As a result of the rapid growth of urban agglomerations observed in recent decades, the volume of municipal solid waste (MSW) has increased significantly. This growth has become one of the most pressing environmental problems faced by modern cities. The main reason for the sharp increase in MSW volumes is the existing system focused on constant consumption. People have begun to produce more and more waste, while the production capacity for recycling in most cases is insufficient. In such conditions, the usual methods of waste disposal, primarily landfill disposal, become ineffective and even dangerous. Therefore, it is important to pay attention to the development of a new waste management mechanism aimed at moving from waste disposal to recycling. The article proposes a variant of the system, the purpose of which is to sort waste and transport recyclables by rail to remote processing facilities and optimize the logistics process, which will increase the efficiency of collection and disposal of MSW, reduce the negative impact on the environment and ensure sustainable economic development. Further research and practical application of the proposed approaches can significantly improve the situation in the field of waste management.

Keywords: municipal solid waste, MSW, logistics system, optimization of logistics for the collection and disposal of MSW, waste sorting complex.

© Vakulenko S.P., Efimova E.A., Konoval I.A.

Received 20.01.2025, approved 22.02.2025, accepted for publication 22.02.2025.

For citation:

Vakulenko S.P., Efimova E.A., Konoval I.A. Logistics of collection and disposal of municipal solid waste, as an element of the closed-cycle economy. Logistics and Supply Chain Management. 2025. Vol 22, Iss 1 (114). pp. 4-19.

Vakulenko S.P., Ph.D, Professor, Head of the Department of Transport Business Management and Intelligent Systems, Russian University of Transport (RUT (MIIT), e-mail: post-iuit@bk.ru.

Efimova E.A., postgraduate Student of the Department of Transport Business Management and Intelligent Systems, Russian University of Transport (RUT (MIIT), 127994, Moscow, Obraztsova str., 9, p.9), Russian University of Transport (RUT (MIIT), e-mail: davydova.evgeniya.99@bk.ru.

Konoval I.A., Cand. of Eng. Sc., Associate Professors of the Department of Chemistry and Engineering Ecology, Russian University of Transport (RUT (MIIT), e-mail: konovalinna@yandex.ru.

References

1. Trofimova, N. N. The relationship between the concepts of sustainable development and the closed-loop economy / N. N. Trofimova // *Competitiveness in the global world: economics, science, technology*. - 2023. – No. 2. – pp. 247-249.
2. Lakhmetkina, N. Y. The problem of transportation of municipal solid waste by rail / N. Y. Lakhmetkina, E. A. Davydova // *Transport and logistics: current problems of strategic development and operational management: VI International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, February 04-05, 2022*. Rostov-on-Don: Rostov State University of Railway Transport, 2022. pp. 100-102.
3. Lakhmetkina, N. Y. Optimal solutions for MSW transportation / N. Y. Lakhmetkina, E. A. Davydova // *Innovative production technologies and resource-saving energy: Proceedings of the International scientific and practical conference, Omsk, December 08-09, 2021*. Omsk: Omsk State University of Communications, 2021. pp. 42-49.
4. Lavrov, V. V. Formation of an urban system for solid municipal waste management / V. V. Lavrov // *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences (Saint Petersburg)*. - 2010. – No. 3. – pp. 81-85.
5. Moscow transport Hub: development prospects / S. P. Vakulenko, A.V. Kolin, D. Y. Romensky [et al.]; Russian University of Transport (MIIT). Volume Part III. Moscow : All-Russian Institute of Scientific and Technical Information of the Russian Academy of Sciences, 2020. 208 p. ISBN 978-5-902928-88-1.
6. Starodvorskaya, A. N. MSW as cargo for railway transport / A. N. Starodvorskaya // *Railway transport*, 2019, No. 8, pp. 62-64.
7. Ponomarev, M. V. Legal regulation of environmental protection in the management of industrial and consumer waste : specialty 12.00.06 «Land law; natural resource law; environmental law; agrarian law» : dissertation for the degree of Candidate of Law / Mikhail V. Ponomarev, 2020. – 215 p. – EDN KIJJFW.
8. Osipov, V. S. Institutional support for environmental well-being / V. S. Osipov // *Problems of theory and practice of management*. – 2024. – No. 5-6. – PP. 6-22. – EDN LOYYXT.
9. Astratova, G. V. On the issue of municipal solid waste management / G. V. Astratova, E. M. Polivannaya // *Paradigms of management, economics and law*. – 2022. – № 1(5). – Pp. 39-49. – EDN BOLPDY.
10. Azizov, M. K. Waste management system as the main element of ecological and economic sustainability of urban infrastructure / M. K. Azizov, E. A. Zhidko // *Scientific Journal. Engineering systems and structures*. – 2021. – № 1(43). – Pp. 74-79. – EDN HYVCRQ.
11. Mezentsev, I. Incinerators: positive and negative aspects / I. Mezentsev, E. A. Zhidko, P. S. Kuprienko // *Civil defense and natural and technical systems : A collection of articles based on the materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference, Voronezh, March 24-25, 2022* / Editor-in-chief P.S. Kuprienko. Voronezh: Voronezh State Technical University, 2022. pp. 250-254. EDN ERDXVS.
12. Waste management as an important component of the environmental sustainability of urban infrastructure / E. A. Zhidko, V. A. Popova, K. A. Kiryanov, I. A. Zakharenkova // *Scientific Journal. Engineering systems and structures*. – 2023. – № 1(51). – Pp. 45-50. – EDN PLAXQQ.
13. Yabbarova, R. I. Closed-loop economics in the field of waste management: the procedure and results of financing / R. I. Yabbarova // *South of Russia: ecology, development*. – 2024. – Vol. 19, No. 1(70). – pp. 145-150. – DOI 10.18470/1992-1098-2024-1-15. – EDN WCBBAC.
14. Kraeva, S. A. Indicators of the closed-cycle economy in the solid municipal waste management system / S. A. Kraeva // *YOUNG RESEARCHERS in RESPONSE to MODERN CHALLENGES : Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, May 04, 2022*. – Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership «New

Science» (IP Ivanovskaya I.I.), 2022. – pp. 58-63. – EDN IYCJIB.

15. Sukhorukov, A. I. Digital modeling of a sustainable urban waste management system / A. I. Sukhorukov, E. A. Zakharova // Modern problems of project management in the investment and construction sector and environmental management : proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 115th Anniversary of the Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, April 08, 2022 / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation; Plekhanov Russian University of Economics. Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, 2022. pp. 271-276. EDN JDILJB.