

Научная статья
УДК 656.13
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-6-868-881>
EDN: PTEEJX



ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЛОГИСТИКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Е.Е. Витвицкий¹ ✉, **Е.С. Галактионова¹**, **Н.И. Юрьева²**

¹Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

г. Омск, Россия

²ООО «Магнит»,

г. Омск, Россия

✉ ответственный автор

vitvitsky_ee@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Рост территории городов стал причиной необходимости переноса полигонов утилизации твердых коммунальных (бытовых) отходов (ТКО) в более удаленные места на новые площадки. Существенным фактором являются представления и подходы к планированию перевозок грузов, отдельное планирование отдельных заявок не позволяет с достаточной точностью определить результаты будущей работы, поскольку такой подход не позволяет учесть наличие взаимодействия подвижного состава с разных маршрутов между собой и погрузочными машинами. Целью исследования является проектирование перевозок ТКО в областном сообщении на основе дискретного подхода и теоретических положений оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок.

Материалы и методы. В рамках проведенного исследования применялся нормативный подход при планировании затрат на перевозку грузов и дескриптивные модели описания функционирования автотранспортных систем областных автомобильных перевозок грузов.

Результаты обсуждения. Решение задач по проектированию перевозок грузов, в том числе и в областном сообщении, обусловлено необходимостью заблаговременно, до опыта знания результатов будущей деятельности, поскольку работу автомобильного транспорта накопить, а потом исправить, невозможно. Результаты перевозок грузов зависят от множества факторов, в том числе от наличия методики проектирования, позволяющей адекватно отобразить процессы их выполнения. Применение математического моделирования позволило достоверно построить планы перевозки ТКО и определить величины затрат на их реализацию.

Заключение. Выявлено, что возможные простои, как автопоездов, так и экскаваторов, являются причиной невыполнения оперативного плана перевозок, определенного раздельным планированием. Использование одного и того же подвижного состава для клиентов с различными расстояниями перевозок на территории области будет сопровождаться разными затратами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: твердые коммунальные отходы, областное сообщение, грузовые автомобильные перевозки, план перевозок грузов, методика проектирования, затраты на перевозку

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Витвицкий Е.Е. – член редакционной коллегии журнала «Вестник СибАДИ». Журнал «Вестник СибАДИ» не освобождает от рецензирования рукописи ученых вне зависимости от их статуса.

Статья поступила в редакцию 03.11.2024; одобрена после рецензирования 11.12.2024; принята к публикации 16.12.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Витвицкий Е.Е., Галактионова Е.С., Юрьева Н.И. Применение дискретного подхода при проектировании транспортной составляющей логистики твердых коммунальных отходов // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 6. С. 868-881. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-6-868-881>

© Витвицкий Е.Е., Галактионова Е.С., Юрьева Н.И., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-6-868-881>
EDN: PTEEJX

APPLICATION OF A DISCRETE APPROACH TO DESIGNING THE TRANSPORT COMPONENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE LOGISTICS

Evgeny E. Vitvitsky¹ ✉, Elena S. Galaktionova¹, Natalya I. Yuryeva²

¹The Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),

Omsk, Russia

²Magnit LLC

Omsk, Russia

✉ corresponding author
vitvitsky_ee@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The growth of the urban area has led to the need to transfer landfills for the disposal of solid municipal (household) waste (MSW) to more remote locations on new sites. Representations and approaches to cargo transportation planning are an essential factor, separate planning of individual applications does not allow determining the results of future work with sufficient accuracy, since such an approach does not allow taking into account the interaction of rolling stock from different routes with each other and loading machines. The purpose of the study is to design the transportation of MSW in regional communications based on a discrete approach and theoretical provisions of operational planning of road freight transportation.

Materials and methods. Within the framework of the conducted research, a normative approach was applied to the planning of freight transportation costs and descriptive models for describing the functioning of road transport systems of regional road freight transportation.

Results and discussion. The solution of tasks related to the design of cargo transportation, including in regional communications, is due to the need in advance, prior to experience, knowledge of the results of future activities, since it is impossible to accumulate the work of road transport and then fix it. The results of cargo transportation depend on many factors, including the availability of a design methodology that allows you to adequately reflect the processes of their implementation. The use of mathematical modeling made it possible to reliably build plans for the transportation of MSW and determine the cost of their implementation.

Conclusion. It has been revealed that possible downtime of both road trains and excavators is the reason for not fulfilling the operational transportation plan defined by separate planning. The use of the same rolling stock for customers with different transportation distances in the region will be accompanied by different costs.

KEYWORDS: solid municipal waste, regional communication, freight road transportation, cargo transportation plan, design methodology, transportation costs

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest. Vitvitsky E.E. member of the editorial board of the journal *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. The journal "The Russian Automobile and Highway Industry Journal" does not exempt scientists from reviewing the manuscript, regardless of their status.

The article was submitted: 03.11.2024; approved after reviewing: 11.12.2024; accepted for publication: 16.12. 2024.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Vitvitsky E.E., Galaktionova E.S., Yuryeva N.I. Application of a discrete approach to designing the transport component of municipal solid waste logistics. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (6): 868-881. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-6-868-881>

© Vitvitsky E.E., Galaktionova E.S., Yuryeva N.I., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема борьбы с отходами жизнедеятельности является актуальной во всем мире. И в каждом государстве предпринимаются попытки ее решения, что определяет значительное количество трудов, посвященных изучению различных аспектов. Одним из таких аспектов являются различные вопросы, связанные со сбором и вывозом твердых коммунальных отходов (ТКО), таких как, маршрутизация, выбор подвижного состава, построение расписания работы самосвалов, определение затрат на перевозку в условиях города, области, при наличии или отсутствии заводов по переработке ТКО и пр. Решению любой задачи должно предшествовать изучение уже существующих исследований, отечественных и зарубежных, посвященных изучаемому вопросу. Однако при решении этой задачи в рамках каждого государства необходимо руководствоваться принятыми в нем законами, постановлениями, актами и другими документами, определяющими правила осуществления того или иного вида деятельности. Результаты такого изучения позволят установить успешность применения тех или иных подходов к решению поставленной задачи, и определить ее ограничения. В процессе решения выявляются элементы, препятствующие бесперебойному протеканию изучаемого процесса и, как следствие,

отрицательно влияющие на затраты по его реализации.

Острота поставленного вопроса определила необходимость изучения его учеными с различных сторон. Ряд работ посвящен вопросам технологии утилизации ТКО и проблемам их переработки, в том числе экологическим. Особенности утилизации ТКО с применением различных методов и получение полезных эффектов утилизации, с учетом экологических проблем, изучаются в работах А.Н. Баркова и И.О. Кирильчука¹, С.А. Кирсанова и Г.В. Мустафина [1], Е.Е. Степаненко, О.А. Поспеловой и Т.Г. Зеленской [2], Д.А. Шаповалова, Р.Н. Холина и У.Е. Скоробогатовой [3], Г.М. Шулятьевой², Е.Н. Пирогова и Д.В. Кабанова³, А.А. Калютника, Д.А. Трещева и Д.Л. Поздеева⁴, Ы.У. Ыдрыскызы и В.Е. Мессерле⁵, А. Taşkın и N. Demir [4]. Установлению связи между социальными и экономическими аспектами вывоза ТКО, изучению механизмов финансирования обращения с ТКО, особенностям расчета экономического эффекта от переработки ТКО, стоимости сбора и переработки твердых бытовых отходов уделяется внимание в статьях Я.Г. Шадрина и Е.В. Кузнецовой⁶, Е.М. Акимовой и Д.А. Семернина [5], А.В. Тулохоновой и О.В. Улановой⁷, N.V. Karadimas, N. Doukas, M. Kolokathi, и G. Defteraio [6], P.A. Koushki, U. Al-Duaij и W. Al-Ghimlas [7]. В других статьях изучаются вопросы государственного регулирования и управления в сфере обращения с ТКО, а именно

¹ Барков А.Н., Кирильчук И.О. Проблема утилизации твердых бытовых отходов // Прогрессивные технологии и процессы. Сборник научных статей II Международной молодежной научно-практической конференции: в 3-х томах. Том 1. Ответственный редактор: Горохов А.А. 2015. С. 117–120.

² Шулятьева Г.М. Актуальность учета различной скорости разложения твердых бытовых отходов при их селективном сборе и утилизации // Управленческий учет. 2021. № 5-2. С. 542-547. https://elibrary.ru/download/elibrary_46150905_26306130.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

³ Пирогов Е.Н., Кабанов Д.В. Утилизация твердых бытовых отходов путём мусоросжигания // Технические и естественные науки: сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции. 2020. С. 100-102. https://elibrary.ru/download/elibrary_42534768_92063424.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

⁴ Калютник А.А., Трещев Д.А., Поздеева Д.Л. Утилизация твердых бытовых отходов на ТЭЦ г. Санкт-Петербурга // Глобальная энергия. 2019. Т. 25, № 3. С. 59–70. https://elibrary.ru/download/elibrary_41302194_75218636.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

⁵ Ыдрыскызы Ы.У., Мессерле В.Е. Получение синтез-газа из твердых бытовых отходов с помощью процесса пиролиза // Universum: технические науки. 2021. № 4-5 (85). С. 18–23. https://elibrary.ru/download/elibrary_45800303_51738107.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

⁶ Шадрин Я.Г., Кузнецова Е.В. Эколого-экономическая эффективность утилизации твердых бытовых отходов // Отходы и ресурсы. 2019. Т. 6, № 2. С. 8-8. https://elibrary.ru/download/elibrary_39492275_51953713.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

⁷ Тулохонова А.В., Уланова О.В. Социально-экономическая оценка систем управления твердыми бытовыми отходами // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2012. № 9 (45). С. 44. https://elibrary.ru/download/elibrary_18850979_32880074.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

авторов О.И. Лихачевой и П.М. Советова⁸, А.А. Курочкиной и А.А. Чалгановой⁹, Е.А. Иванцовой¹⁰, определяются перспективы развития в работе В.Ю. Конюхова, И.И. Галаяудинова и И.Н. Бугушкиновой¹¹, в статье И.В. Елисейевой анализируется государственное законодательство [8]. Также вопросы управления рассматриваются в исследованиях Y. Geng, F. Tsuyoshi и X. Chen [9] и Y. Zhang, G.H. Huang и L. He [10]. В работах А.А. Чалгановой¹², М.Л. Казаряна, А.А. Рихтера, М.А. Шахраманьяна и Р.Д. Недкова [11], Б.М. Тошмаматова, Г.Н. Узаква и С.Р. Баратовой¹³, Н.Ю. Арипова [12], С.В. Кашникова [13] и др. Исследованы вопросы цифровизации, космического мониторинга в сфере обращения с ТКО, переработки ТКО с использованием солнечной энергии и городской системы канализации и пр. Предложены модель оптимизации размещения заводов по переработке ТКО в исследовании И.Х. Османова [14] и модель задачи размещения-маршрутизации твердых бытовых отходов с промежуточными станциями перевалки в статье Н. Asefi, S. Lim [15], Н. Asefi, S. Lim и М. Maghrebi [16]. К.В. Щурин и Е.О. Егорова¹⁴ рассматривают вопросы, связанные с транспортировкой твердых бытовых отходов на

основе мультимодальных технологий, той же проблеме посвящена и работа D. Inghels, W. Dullaert и D. Vigo [17]. Вопросы оптимизации маршрутов сбора и транспортировки отходов на основе применения методов целочисленного программирования рассмотрены авторами S. Das и В.К. Bhattacharyya [18], интеграции ГИС-анализа и агентной модели K. Nguyen-Trong, A. Nguyen-Thi-Ngoc, D. Nguyen-Ngoc и V. Dinh-Thi-Hai [19], применения ГИС-приложений V. Sanjeevi и P. Shahabudeen [20]. Особенности различных математических подходов к оценке эффективности сбора и транспортировки твердых бытовых отходов (ТБО) в городских центрах изучены в работах V. Yadav и S. Karmakar [21] и R. Alam, M.A.I. Chowdhury, G.M.J. Hasan, B. Karanjit и L.R. Shrestha [22]. Следует отметить, что при перевозке ТКО можно использовать методы и подходы, разработанные для применения при перевозках любых грузов. Так, в работе И.В. Погуляевой¹⁵ представлены модели описания функционирования автотранспортных систем перевозки грузов во внутриобластном сообщении, статья В.А. Бахтина и др. [23] посвящена оптимизации перевозок однородной продукции между складами. Работы Н.И. Юрьевой и Е.Е. Витвицкого¹⁶ [24]

⁸ Лихачева О.И., Советов П.М. Методологические аспекты управления сферой обращения с твердыми бытовыми отходами // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2017. № 4 (52). С. 111–127. https://elibrary.ru/download/elibrary_29899463_91592385.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

⁹ Курочкина А.А., Чалганова А.А. Направления совершенствования системы обращения твердых бытовых отходов в России // Стратегии развития предпринимательства в современных условиях: сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2018. С. 72–75. https://elibrary.ru/download/elibrary_34984110_16278359.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

¹⁰ Иванцова Е.А. Проблемы и перспективы управления твердыми бытовыми отходами // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2016. № 2 (35). С. 148–159. https://elibrary.ru/download/elibrary_26471243_92756936.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

¹¹ Конюхов В.Ю., Галаяудинов И.И., Бугушкинова И.Н. Методы и перспективы использования твердых бытовых отходов // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2019. № 6. С. 11–11. https://elibrary.ru/download/elibrary_41312024_30964333.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

¹² Чалганова А. А. Направления цифровой трансформации сферы обращения твердых бытовых отходов // Вызовы цифровой экономики: условия, ключевые институты, инфраструктура: сборник статей I Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 187–189. https://elibrary.ru/download/elibrary_34922305_30229623.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

¹³ Тошмаматов Б.М., Узаква Г.Н., Баратова С.Р. Утилизация твердых бытовых отходов с использованием солнечной энергии // Научные горизонты. 2019. № 2. С. 255–260. https://elibrary.ru/download/elibrary_37030690_46225716.PDF (дата обращения: 02.10.2024)

¹⁴ Щурин К.В., Егорова Е.О. Анализ отечественного и зарубежного опыта логистических операций с твердыми бытовыми отходами // Перспективы, организационные формы и эффективность развития сотрудничества российских и зарубежных ВУЗов: сборник материалов VII Ежегодной международной научной конференции (10–11 апреля 2019 г., Научноград Королев, Московская область). М.: Издательство «Научный консультант», 2019. С. 592–600. https://elibrary.ru/download/elibrary_42435508_23382394.pdf (дата обращения: 02.10.2024)

¹⁵ Погуляева И. В. Описание функционирования автотранспортных систем во внутриобластном сообщении: дис. канд. техн. наук: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта. Волгоград. 2006. 127 с.

¹⁶ Юрьева Н.И., Витвицкий Е.Е. Электронная база данных» Справочные и нормативные материалы по автомобильному транспорту» // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов // Наука и образование. 2015. № 5. С. 66–66. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23613956> (дата обращения: 02.10.2024)

позволяют обосновать размер затрат на перевозки в некоторых автотранспортных системах перевозок грузов.

Результаты анализа позволяют констатировать, что труды отечественных и зарубежных ученых в большей мере посвящены задачам переработки отходов либо нацелены на совершенствование вопросов управления системой сбора и переработки ТКО в логистике твердых коммунальных отходов. Экономические вопросы, безусловно, также не остаются без внимания, однако в отечественных трудах основное значение уделяется финансированию, экономическим результатам обращения и переработке отходов, более же частные элементы этих процессов, такие как оптимизация сбора и вывоза ТКО и определение затрат, связанных с этим видом деятельности, рассматриваются реже, в отличие от зарубежных ученых, которые весьма внимательно относятся к вопросам оптимизации маршрутов сбора и вывоза отходов, рассматривая варианты решения на примере различных городов с применением ГИС-приложений, агентных моделей, организационных решений, таких как создание промежуточных накопительных станций и т.п. При этом следует отметить, что в большинстве своем эти статьи посвящены перевозкам в городских условиях. В то же время труды отечественных ученых в сфере грузовых автомобильных перевозок позволяют применять их результаты при изучении вопросов перевозки ТКО.

Возможно, менее значительное внимание, уделяемое отечественными исследователями вопросам перевозки ТКО и расчету затрат на осуществление этих процессов, связано с тем, что ранее задача борьбы с ТКО решалась на государственном уровне, и существовала система постановлений и стандартов, регламентирующих процессы сбора, вторичной переработки и захоронения ТКО¹⁷.

Согласно ГОСТ 19433–74¹⁸, все грузы по степени опасности подразделялись на 9 классов, ТКО относятся к 9-му классу. Перевозка опасных грузов регулировалась инструкцией о порядке перевозки опасных грузов автомобильным транспортом № 371 от 20.11.1980 г.¹, в которой оговаривались требования к перевозке грузов всех классов опасности, кроме 9-го. Грузы этого класса опасности должны были перевозиться согласно правилам перевозки грузов¹⁹, с применением специализированного подвижного состава. Затраты на перевозку рассчитывались в соответствии с методикой Трансфинплана²⁰. В настоящее время в России построение системы утилизации и вторичной переработки ТКО было начато заново²¹. В 1998 г. был принят Федеральный закон²², а в 2014 г. предпринята так называемая «мусорная» реформа²³, согласно которой в регионах РФ необходимо разработать «территориальную схему обращения с отходами производства и потребления», где описываются «системы организации и осуществления деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвре-

¹⁷ Министерство Внутренних Дел СССР (1980) Приказ Министерства Внутренних Дел СССР «Инструкция о порядке перевозки опасных грузов автомобильным транспортом», № 371 20 ноября 1980 года, Москва. Министерство жилищно-коммунального хозяйства РСФСР (1974) Методические рекомендации Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР «Методические рекомендации по организации сбора и вывоза пищевых отходов», 20 января 1974 года, Москва. Министерство здравоохранения СССР (1984) Приказ Министерства здравоохранения СССР «Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов (санитарные правила)», № 3183-84 29 декабря 1984 года, Москва.

¹⁸ ГОСТ 19433–74. Комитет стандартов, мер измерительных приборов при Совете министров СССР. М.: 1974.

¹⁹ Правила перевозок грузов автомобильным транспортом [Текст]: изд. в соотв. с Уставом автомобильного транспорта РСФСР / Сост. В.В. Коноплин, Д.И. Половинчик, А.Н. Просолова, В.В. Иванов; ред. Г.Д. Тишина. 2-е изд., с изм. и доп. М.: Транспорт, 1984. 167 с.

²⁰ Трансфинплан автотранспортного объединения, предприятия [Текст] / М.Д. Столярова, В.И. Кузнецов, Т.А. Толмаджеева и др. М.: Транспорт, 1984. 215 с.

²¹ Черп О.М., Виниченко В.Н. Проблема твердых бытовых отходов: комплексный подход. М: Эколайн-Ecologia. 1996. 43 с. [https://www.waste.ru/uploads/library/o.m.cherp,_v.n.vinichenko._problema_tverdyx_bytovyx_otxodov._kompleksnyj_podhod_\(1996\)\(ru\).pdf](https://www.waste.ru/uploads/library/o.m.cherp,_v.n.vinichenko._problema_tverdyx_bytovyx_otxodov._kompleksnyj_podhod_(1996)(ru).pdf) (дата обращения: 02.10.2024)

²² Федеральный закон Правительства Российской Федерации «Об отходах производства и потребления», № 89-ФЗ 24 июня 1998 года, Москва.

²³ Федеральный закон Правительства Российской Федерации «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления», отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных законодательных актов (положений законодательных актов) Российской Федерации», № 458-ФЗ 29 декабря 2014 года, Москва.

живанию, захоронению отходов, в том числе ТКО, образующиеся на территории субъекта Российской Федерации, и направления ее развития на определенный период»²⁴. Также в соответствии со статьями 5 и 24.9 Федерального закона «Об отходах производства и потребления»⁶ принято постановление Правительства РФ «О ценообразовании в области обращения с твердыми коммунальными отходами», № 484 от 30.05.2016²⁵, определяющее «систему, принципы и методы регулирования тарифов на товары (работы, услуги) организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности в области обращения с твердыми коммунальными отходами, критерии их применения». Расходы на транспортирование ТКО учитываются при определении предельных тарифов на осуществление регулируемых видов деятельности в области обращения с ТКО, установленных органами регулирования тарифов (тарифы). Для определения размера тарифов принят Приказ «Об утверждении Методических указаний по расчету регулируемых тарифов в области обращения с твердыми коммунальными отходами», № 1638/16 от 21.11.2016²⁶. Следует отметить, ни в постановлении Правительства РФ № 484 от 30.05.2016⁸, ни в Приказе № 1638/16 от 21.11.2016⁹ методики постатейного расчета затрат на транспортировку ТКО не приведено. Это позволяет утверждать, что в настоящее время отсутствует нормативное регулирование определения затрат на транспортировку ТКО. Для решения вопроса расчета затрат на перевозку ТКО следует применять нормативные положения, регулирующие работу транспорта общего пользования: Приказ Министерства транспорта Российской Федерации «Об утверждении Особенности режима рабочего времени и времени отдыха, условий труда водителей автомобилей», Постановле-

ние Правительства Российской Федерации «Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом и о внесении изменений в пункт 2.1.1 Правил дорожного движения Российской Федерации»²⁷, а также Приказ Федеральной антимонопольной службы «Об утверждении Методических указаний по расчету регулируемых тарифов в области обращения с твердыми коммунальными отходами»²⁶.

МАТЕРИАЛЫ МЕТОДЫ

Цель исследования – разработать оперативный план перевозок ТКО и выполнить оценку полученного результата. Задачи: 1. Подготовить исходные данные. 2. обосновать подходы и методику проектирования; оценить выполнимость плана перевозок грузов; рассчитать затраты на перевозку ТКО.

Чтобы выполнить рассматриваемое исследование были использованы лоты № 0400700004820000001 - № 0400700004820000010 и, соответствующие им технические задания²⁸. При построении исходного варианта применялся нормативный подход, описанный в правилах перевозок грузов, определяющий изолированное планирование работы грузоотправителя с каждым грузополучателем. Для планирования такой работы применены модели описания функционирования областных автотранспортных систем перевозок грузов, созданные И.В. Погуляевой¹⁵, учитывающие дискретный характер протекания транспортного процесса. Однако условиями работы грузоотправителей наложено ограничение на количество погрузочно-разгрузочных механизмов (ПРМ), имеющих в наличии, их количество меньше числа грузополучателей, что определяет необходимость согласования созданных пла-

²⁴ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Омской области «Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами производства и потребления в Омской области и признании утратившими силу отдельных приказов Министерства природных ресурсов и экологии Омской области», № 39 от 26 мая 2020 года, Омск.

²⁵ Постановление Правительства Российской Федерации «О ценообразовании в области обращения с твердыми коммунальными отходами», № 484, 30 мая 2016 года, Москва.

²⁶ Федеральная антимонопольная служба Российской Федерации (2016) Приказ Федеральной антимонопольной службы «Об утверждении Методических указаний по расчету регулируемых тарифов в области обращения с твердыми коммунальными отходами», № 1638/16, 21 ноября 2016 года, Москва.

²⁷ Министерство транспорта Российской Федерации (2020) Приказ Министерства транспорта Российской Федерации «Об утверждении Особенности режима рабочего времени и времени отдыха, условий труда водителей автомобилей», № 424 от 16 октября 2020 года, Москва. Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом и о внесении изменений в пункт 2.1.1 Правил дорожного движения Российской Федерации», № 2200, 21 декабря 2020 года, Москва.

²⁸ Официальный сайт Единой информационной системы в сфере закупок (ЕИС) <https://zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html> (дата обращения: 02.10.2024)

нов работы путем построения расписания. При разработке проекта расписания применен принцип обслуживать первым самого удаленного клиента, что в условиях ограничения времени освоения заявленного объема перевозок позволит выполнить его перевозку сначала в наиболее удаленные пункты. При планировании расписания работы вернувшихся из рейса транспортных средств использован принцип FIFO.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим применение нормативных положений автотранспорта общего пользования для проектирования перевозок ТКО в областном сообщении, исходные данные представлены в таблице 1.

Согласно правилам перевозок грузов каждая заявка грузоотправителя (ГО) для заключения

договора рассматривается отдельно. Однако применение этого подхода может приводить к неверным результатам. Покажем это на примере. Перевозка ТКО осуществляется автотранспортным средством (АТС) в составе седельного тягача Mercedes-Benz Actros 2646LS и самосвального полуприцепа Grunwald, геометрическим объемом кузова 30 м³ грузополучателю (далее ГП). Погрузка выполняется экскаваторами, емкость ковша – 1 м³.

Используя математическую модель описания функционирования областных автотранспортных систем перевозок грузов, учитывающую дискретность протекания транспортного процесса¹⁵, за время работы системы 24 ч разработан план перевозок ТКО на каждом направлении отдельно. Затраты определены с использованием программно-математического обеспечения [24], результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 1

Исходные данные

Источник: составлено авторами по данным лотов № 0400700004820000001 – № 04007000004820000010 и технических заданий на оказание услуг по транспортированию твердых коммунальных отходов²⁹.

Table 1

Initial data

Source: Compiled by the authors based on data from lots No. 0400700004820000001 – No. 04007000004820000010 and technical specifications for the provision of services for the transportation of solid municipal waste.

№п/п	Направление перевозки «хвостов»	Пробег с грузом, км	Объем перевозок на сутки, т	Количество ездов на сутки, ед.	Объем перевозок на период контракта, т
1	ГО1-ГП4	35	330,244	15,0	40620
2	ГО1-ГП1	94	526,341	24,0	64740
3	ГО1-ГП5	100	548,537	25,0	67470
4	ГО1-ГП2	105	550,894	25,0	67760
5	ГО1-ГП6	121	529,919	24,0	65180
6	ГО1-ГП3	291	414,878	19,0	51030
1	ГО2-ГП4	48	348,049	16,0	42810
2	ГО2-ГП2	58	602,195	27,0	74070
3	ГО2-ГП1	152	336,260	15,0	41360
4	ГО2-ГП3	229	561,789	25,0	69100
ИТОГО:					584 140

²⁹ Официальный сайт Единой информационной системы в сфере закупок (ЕИС) <https://zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html> (дата обращения: 03.10.2024).

Таблица 2
Результаты расчета работы автосамосвалов
Источник: составлено авторами.

Table 2
Results of calculation of dump trucks operation
Source: compiled by the authors.

Маршрут перевозки «хвостов»	Выработка АТС, т/смену	Выработка АТС, ездок/ смену	Количество АТС на сутки, т	Затраты на смену, руб.	Затраты за смену на 1 АТС, руб.	Затраты на 1 т, руб.
ГО1-ГП4	247,5	11	1,33 (2)	82 010,72	41 005,36	248,33
ГО1-ГП1	112,5	5	4,67 (5)	297 042,35	59 408,47	564,35
ГО1-ГП5	112,5	5	4,87 (5)	323 926,68	64 785,34	590,53
ГО1-ГП2	112,5	5	4,89 (5)	335 846,00	67 169,20	609,64
ГО1-ГП6	90	4	5,88 (6)	377 455,09	62 909,18	712,29
ГО1-ГП3	45	2, посл.авто 1	9,21 (10)	692 908,37	69 290,84	1 670,15
ИТОГО:			30,85 (33)	2 109 189,22	63 914,82	727,10
ГО2-ГП4	202,5	9	1,71 (2)	106 545,82	53 272,91	306,12
ГО2-ГП2	157,5	7	3,82 (4)	215 698,19	53 924,55	358,19
ГО2-ГП1	67,5	3	4,98 (5)	296 682,04	59 336,41	882,30
ГО2-ГП3	45,0	2	12,48 (13)	747 131,64	57 471,66	1 329,92
ИТОГО:			22,99(24,0)	1 366 057,69	56 919,07	739,09

Таблица 3
Результаты расчета использования экскаваторов
Источник: составлено авторами.

Table 3
Results of calculation of excavator utilization
Source: compiled by the authors.

№ п/п	Направление перевозки «хвостов»	Возможное количество погрузок в смену	Плановое количество погрузок в смену	Потребность в экскаваторах, ед.	Потребность в экскаваторах (факт), ед.
1	ГО1-ГП4	58,0	15,0	0,258	1,0
2	ГО1-ГП1	58,0	24,0	0,414	1,0
3	ГО1-ГП5	58,0	25,0	0,431	1,0
4	ГО1-ГП2	58,0	25,0	0,431	1,0
5	ГО1-ГП6	58,0	24,0	0,414	1,0
6	ГО1-ГП3	58,0	19,0	0,328	1,0
ИТОГО:		348,0	132	2,278	6,0 (2,0)
1	ГО2-ГП4	58,0	16	0,275	1,0
2	ГО2-ГП2	58,0	27	0,465	1,0
3	ГО2-ГП1	58,0	15	0,259	1,0
4	ГО2-ГП3	58,0	25	0,431	1,0
ИТОГО:		232,0	83,0	1,431	4,0 (2)

На практике погрузку от каждого ГО выполняют по 2 экскаватора (HitachiZX 240 и HitachiZX 225), размер ковша – 1 м³, норма времени на погрузку³⁰ 1 м³ ТКО – 0,023 чел.-ч, по расчетам время погрузки АТС составит 0,41 ч. Согласно подходу по расчетам тре-

буется 10 экскаваторов. Результаты расчета использования экскаваторов выполняются с использованием метода прямого счета при условии: время работы 24 ч, 1 экскаватор у ГО (таблица 3).

³⁰ Министерство труда Российской Федерации (2000) Постановление Министерства труда Российской Федерации «Об утверждении межотраслевых норм времени на погрузку, разгрузку вагонов, автотранспорта и складские работы», № 76, 17 октября 2000 года, Москва.

Из представленных в таблице 3 данных следует, что ресурсы экскаваторов у ГО2 превышают потребность в погрузках и два экскаватора используются на 71,55% от наличия (потребность в погрузках 83,0 ед., наличие 116,0 ед.), а у ГО1 наличие не соответствует потребности в погрузках на 0,139% (потребность в погрузках 132,0 ед. а наличие 116,0 ед.) и план перевозок поэтому не может быть исполнен.

Выполнению данного требования препятствует размерный ряд ковшей производителя, по первому экскаватору имеется ковш объемом 1,4 м³, по второму 1,2 м³. Тогда выполнение требования кратности погрузок возможно только путем замены экскаваторов. На практике в автосамосвал грузят 80% прессованных ТКО (20 тюков) и 20% россыпью, путем экскавации. Для проверки выполнения плана перевозок требуется установить принцип отгрузки, очередность обслуживания ГП на первой погрузке. Если отгружать наиболее удаленного ГП первым, то возвращающиеся автомобили от наиболее удаленного ГП меньше всего будут оказывать влияние на погрузку самосвалов к менее удаленным ГП. Используем также принцип FIFO «Прибыл первым, грузится первым» [23]. Расчет выполнен для ГО1. Сначала грузим первые ездки 10 авто для № 6 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы встанут через время оборота, равного 13 ч (в 21,00). От начала времени первой смены работы ГП1 (8,00) окончание первой погрузки группы АТС составит 10,05 ч. Плановое количество ездов 19. Вторыми будем грузить первые ездки 6 авто для № 5 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 5,88 часа (в 15,94). Начало первой погрузки группы АТС в адрес № 5 от начала времени первой смены работы ГП1 в 10,06 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 5 произойдет в 11,29 ч. Плановое количество ездов 24. Третьими будем грузить первые ездки 6 авто для № 4 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 5,08 ч (в 16,38). Начало первой погрузки группы АТС в адрес № 4 от начала времени первой смены работы полигона в 11,30 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 4 произойдет в 12,53. Плановое количество ездов 25. Четвертыми будем грузить первые ездки 6 авто для № 3 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 4,96 ч (в 17,5). Начало первой погрузки группы АТС в адрес № 3 от начала времени первой смены

работы ГП1 в 12,54 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 3 произойдет в 13,77 часа. Плановое количество ездов 25. Пятыми будем грузить первые ездки 6 авто для № 2 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 4,53 ч (в 18,31). Начало первой погрузки группы АТС в адрес № 2 от начала времени первой смены работы полигона в 13,78 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 2 произойдет в 15,01 ч. Плановое количество ездов 24. Шестыми будем грузить первые ездки 6 авто для № 1 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 2,14 ч (в 17,16). Начало первой погрузки первого авто группы АТС в адрес № 1 от начала времени первой смены работы ГП1 в 15,02 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 1 произойдет в 16,25. Плановое количество ездов 15. Установлен простой 6 авто по 0,32 ч (прибытие в 15,94, начало погрузки в 16,26).

Первыми будем грузить вторые ездки 6 авто для № 5 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 5,88 ч (в 22,14). Начало второй погрузки группы АТС в адрес № 5 от начала времени первой смены работы полигона в 16,26 ч, окончание второй погрузки группы АТС в адрес № 5 произойдет в 17,49 ч. Плановое количество ездов 24, выполнено 6. Простой 6 авто по 1,12 ч (прибытие в 16,38, начало погрузки в 17,50). Вторыми будем грузить вторые ездки 6 авто для № 4 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 5,08 ч (в 22,58). Начало первой погрузки группы АТС в адрес № 4 от начала времени первой смены работы ГО1 в 17,50 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 4 произойдет в 18,73. Плановое количество ездов 25, выполнено 6.

Простой 6 авто по 1,58 ч (прибытие в 17,16, начало погрузки в 18,74). Третьими будем грузить вторые ездки 6 авто для №1 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 2,14 ч (в 20,88). Начало первой погрузки первого авто группы АТС в адрес № 1 от начала времени первой смены работы ГО1 в 18,74 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 1 произойдет в 19,97. Плановое количество ездов 15, выполнено 6. Простой 6 авто по 2,48 ч (прибытие в 17,5, начало погрузки в 19,98). Четвертыми будем грузить вторые ездки 6 авто для № 3 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 4,96 ч (в 0,94).

Таблица 4
Плановые результаты перевозок
Источник: составлено авторами.

Table 4
Planned transportation results
Source: compiled by the authors.

№ п/п	Число ездок план, ед.	Число ездок факт, ед.	Простой в ожидании погрузки, ч.	Число ездов не выполнено, ед.	Затраты за смену, руб.	Затраты за смену на 1 АТС, руб.	Затраты на 1 т, руб.
6	19	19	1,89	0	694 278,31	69 427,83	1 673,45
5	24	18	1,92+19,26	6	294 827,89	58 965,58	727,97
4	25	18	6,72+24,06	7	254 580,68	63 645,17	628,59
3	25	18	14,88+17,34	7	246 346,64	61 586,66	608,26
2	24	18	29,82+11,16	6	236 207,38	59 051,85	583,23
1	15	15	9,48+10,92	0	87 098,82	43 549,41	263,74
ИТОГО:					1813 339,72	62 528,96	766,70

Начало первой погрузки группы АТС в адрес № 3 от начала времени первой смены работы ГО1 в 19,98 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 3 произойдет в 21,21 ч. Плановое количество ездов 25, выполнено 6. Простой 9 авто по 0,21 ч (прибытие в 21,00, начало погрузки в 21,22). Один автомобиль в гараж. Пятыми будем грузить вторые ездки 9 авто для № 6 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 13,00 (в 10,22). От начала времени первой смены работы ГО1 (8,00) начало второй погрузки составит 21,22 ч, окончание второй погрузки группы АТС составит 23,27 ч. Плановое количество ездов 19, выполнено 19. Простой 6 авто по 4,97 ч (прибытие в 18,31, начало погрузки в 23,28). Шестыми будем грузить вторые ездки 6 авто для № 2 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы придут через время оборота, равного 4,53 ч (в 3,81). Начало второй погрузки группы АТС в адрес № 2 от начала времени первой смены работы ГО1 в 23,28 ч, окончание второй погрузки группы АТС в адрес № 2 произойдет в 0,51 ч. Плановое количество ездов 24, выполнено 6. Простой 3 авто по 3,64 ч (прибытие в 20,88, начало погрузки в 0,52). 3 автомобиля в гараж.

Первыми будем грузить третьи ездки 3 авто для № 1 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы встанут через время оборота, равного 2,14 ч (в 2,66). Начало первой погрузки первого авто группы АТС в адрес № 1 от начала времени первой смены работы ГО1 в 0,52 ч, окончание третьей погрузки трех авто группы АТС в адрес № 1 произойдет в 1,34. Плановое количество ездов 15, выполнено 12. Простой 6 авто

по 3,21 ч (прибытие в 22,14, начало погрузки в 1,35). Вторыми будем грузить третьи ездки 6 авто для № 5 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы встанут через время оборота, равного 5,88 ч (в 7,23). Начало первой погрузки группы АТС в адрес № 5 от начала времени первой смены работы ГО1 в 1,35 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 5 произойдет в 2,58 ч. Плановое количество ездов 24, выполнено 12. Простой 6 авто по 4,01 ч Э(прибытие в 22,58, начало погрузки в 2,59). Третьими будем грузить третьи ездки 6 авто для № 4 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы встанут через время оборота, равного 5,08 ч (в 7,67). Начало первой погрузки группы АТС в адрес № 4 от начала времени первой смены работы ГО1 в 2,59 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 4 произойдет в 3,82. Плановое количество ездов 25, выполнено 12. Простой 6 авто по 2,89 ч (прибытие в 0,94, начало погрузки в 3,83). Четвертыми будем грузить третьи ездки 6 авто для № 3 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы встанут через время оборота, равного 4,96 ч (в 8,79). Начало первой погрузки группы АТС в адрес № 3 от начала времени первой смены работы ГО1 в 3,83 ч, окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 3 произойдет в 5,06 ч. Плановое количество ездов 25, выполнено 12. Простой 6 авто по 1,86 ч (прибытие в 3,81, начало погрузки в 5,07). Пятыми будем грузить третьи ездки 6 авто для № 2 от ГО1, повторно на погрузку самосвалы встанут через время оборота, равного 4,53 ч (в 9,6). Начало первой погрузки группы АТС в адрес № 2 от начала времени первой смены работы ГО1 в 5,07 ч,

окончание первой погрузки группы АТС в адрес № 2 произойдет в 6,3 ч. Плановое количество ездов 24, выполнено 12. Затраты на перевозку грузов рассчитаны согласно 16 [24]. Результаты расчета представлены в таблице 4.

В результате исследования установлено существование на практике достаточно редкой ситуации вывоза ТКО от нескольких ГО множеству ГП, в условиях областных перевозок, выполняемых для одного заказчика. В современной научной литературе планированию подобных перевозок не уделялось достаточного внимания. Поэтому на практике для разработки плана возможно применять подход, нормативные документы, в основе которых лежат теоретические положения оперативно-го планирования грузовых автомобильных перевозок, разработанные для автомобильного транспорта общего пользования, а также собственный опыт. Результаты счетного эксперимента позволили установить, что применение этих положений при оперативном планировании может приводить к ошибкам, т.к. не позволяет учесть взаимодействия автомобилей и погрузочных механизмов в грузовых пунктах, что проявляется в невыполнении плана перевозок (неосвоении грузооборота) в диапазоне от 23,05 до 26,48%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учет взаимодействия между транспортными средствами, а также с погрузочными механизмами позволяет получить более обоснованные оперативные планы перевозки грузов. Поскольку при этом использована методика планирования перевозок грузов автомобильным транспортом общего пользования, не учитывающая специфики груза (ТКО) и условий перевозки (областные перевозки по радиальному маршруту), то и вариант оперативного плана может быть не самым лучшим. На направлениях № 6 и № 1, где план перевозок выполняется, затраты на смену возросли, как и затраты на 1 т перевозимого груза. На направлениях № 2 – № 5, где план перевозок не выполняется, затраты на смену снизились, затраты на 1 т перевозимого груза возросли (от 2,2 до 3,34%). Так как затраты на перевозку напрямую зависят от результатов планирования, то можно утверждать, что размер затрат, рассчитанных на основе разработанного оперативного плана, также недостаточно верен. Это и определяет перспективы дальнейших исследований.

Поскольку исследование завершено разработкой оперативного плана перевозок ТКО, справедливо отметить, что цель достигнута.

Достижению цели способствовало решение задач – подготовка исходных данных, обоснован подход и методика решения задачи разработки оперативного плана перевозок ТКО в областном сообщении, проведена оценка разработанного плана перевозок грузов на выполнимость от разных ГО, определены затраты на перевозку ТКО по данному плану.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кирсанов С.А., Мустафин Г.В. Мировой и российский опыт утилизации твердых бытовых отходов // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2014. № 2. С. 114–120.
2. Степаненко Е.Е., Поспелова О.А., Зеленская Т.Г. Исследование химического состава фильтрационных вод полигона твердых бытовых отходов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11, №. 1–3. С. 525–527.
3. Шаповалов Д.А., Холин Р.Н., Скоробогатова У.Е. Моделирование и оценка загрязнения грунтовых и поверхностных вод фильтратом полигона твердых бытовых отходов // International agricultural journal. 2021. № 2. С. 8–19.
4. Taşkın, Akif, and Nesrin Demir. Life cycle environmental and energy impact assessment of sustainable urban municipal solid waste collection and transportation strategies. *Sustainable Cities and Society* 61, 102339 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102339> (accessed: 02.12.2024).
5. Акимова Е.М., Семернин Д.А. Обращение с твердыми бытовыми отходами на основе концессионных соглашений и ГЧП-моделей в сфере ЖКХ // Экономика и предпринимательство. 2020. № 12. С. 1354–1358.
6. Karadimas, Nikolaos V., et al. Routing optimization heuristics algorithms for urban solid waste transportation management. *wseas transactions on computers* 7.12, 2022–2031 (2008). <https://www.wseas.us/e-library/transactions/computers/2008/31-698.pdf> (accessed: 02.12.2024)
7. Koushki, P.A., U. Al-Duaij, and W. Al-Ghimlas. Collection and transportation cost of household solid waste in Kuwait. *Waste management* 24.9. 2004. 957–964. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.013> (accessed: 02.12.2024)
8. Елисеева И.В. Новая система обращения с твердыми бытовыми отходами: сущность, положительные и отрицательные аспекты // Концепт. 2019. № 11. С. 15–15. DOI: 10.24411/2304-120X-2019-13069
9. Geng, Yong, Fujita Tsuyoshi, and Xudong Chen. Evaluation of innovative municipal solid waste management through urban symbiosis: a case study of Kawasaki. *Journal of cleaner production* 18.10-11 993–1000 (2010). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.03.003> Get rights and content (accessed: 02.12.2024)
10. Zhang, Yimei, Guo He Huang, and Li He. A multi-echelon supply chain model for municipal solid waste management system. *Waste management*.

2014. 34.2 553–561. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.002> (accessed: 02.10.2024)

11. Казарян М.Л., Рихтер А.А., Шахраманьян М.А., Недков Р.Д. Космический мониторинг объектов захоронения твердых бытовых отходов и промышленных отходов (ТБО и ПО): теоретико-методические и социально-экономические аспекты: монография. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. 278 с. (Научная мысль).

12. Арипов Н.Ю. Транспортировка бытовых отходов с применением гидравлических систем // *Science and Education*. 2020. Т. 1, №. 6. С. 65–73.

13. Кашников С.В. Перспективы использования твердых бытовых отходов в качестве альтернативного источника энергии // *Инновации и инвестиции*. 2021. №. 5. С. 148–150.

14. Османов И.Х. Экономико-математическая модель оптимального размещения и определения рациональных мощностей предприятий по переработке твердых бытовых отходов (ТКО) на региональном уровне // *Экономика строительства и природопользования*. 2020. №. 3 (76). С. 23–27.

15. Asefi, Hossein, and Samsung Lim. A novel multi-dimensional modeling approach to integrated municipal solid waste management. *Journal of cleaner production*. 2017; 166: 1131–1143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.061> (accessed: 02.10.2024)

16. Asefi, Hossein, Samsung Lim, and Mojtaba Maghrebi. A mathematical model for the municipal solid waste location-routing problem with intermediate transfer stations. *Australasian Journal of Information Systems*. 2015; 19: 21–35. DOI: <https://doi.org/10.3127/ajis.v19i0.1151> (accessed: 02.12.2024)

17. Inghels, Dirk, Wout Dullaert, and Daniele Vigo. A service network design model for multimodal municipal solid waste transport. *European Journal of Operational Research*. 2016; 254.1: 68–79 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.03.036> (accessed: 02.10.2024)

18. Das, Swapan, and Bidyut Kr Bhattacharyya. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*. 2015; 43: 9–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.033> (accessed: 02.12.2024)

19. Nguyen-Trong, Khanh, et al. Optimization of municipal solid waste transportation by integrating GIS analysis, equation-based, and agent-based model. *Waste management*. 2017; 59: 14–22. (2017). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.048> (accessed: 02.10.2024)

20. Sanjeevi, V., and P. Shahabudeen. Optimal routing for efficient municipal solid waste transportation by using ArcGIS application in Chennai, India. *Waste Management & Research*. 2016; 34.1: 11–21. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X15607430> (accessed: 02.10.2024)

21. Yadav, Vinay, and Subhankar Karmakar. Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. *Sustainable Cities and Society*. 2020; 53 101937: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101937> (accessed: 02.10.2024)

22. Alam, R., et al. Generation, storage, collection and transportation of municipal solid waste—A case study in the city of Kathmandu, capital of Nepal. *Waste management*. 2008; 28.6 1088–1097. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.024> (accessed: 02.10.2024)

23. Оптимизация перевозок однородной продукции между оптовыми складами / Бахтин В.А. [и др.] // *Препринты Института прикладной математики им. МВ Келдыша РАН*. 2018. №. 65. С. 1–26.

24. Юрьева Н.И., Витвицкий Е.Е. Программно-математическое обеспечение «Расчет затрат на перевозку грузов в составе моделей микро и особо малой автотранспортных систем» // *Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование»*. 2015. №. 6. С. 71–71.

REFERENCES

1. Kirsanov S.A., Mustafin G.V. World and russian experience of utilization of solid domestic waste. *Herald of Omsk University. Series "Economics"*. 2014;2: 114–120. (in Russ.)

2. Stepanenko E.E., Pospelova O.A., Zelenskaya T.G. Research of the chemical composition of regenerated flows in hard human waste polygon. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2009; 11. (1-3): 525–527. (in Russ.)

3. SHapovalov D.A., Holin R.N., Skorobogatova U.E. Simulation and assessment of groundwater and surface water pollution by the filtrate of solid waste landfill. *International agricultural journal*. 2021; 2: 8–19. (in Russ.)

4. Taşkın, Akif, and Nesrin Demir. Life cycle environmental and energy impact assessment of sustainable urban municipal solid waste collection and transportation strategies. *Sustainable Cities and Society*. 2020; 61, 102339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102339> (accessed: 02.12.2024).

5. Akimova E.M., Semernin D.A. Olid waste management based on concession agreements and ppp-models in the housing-and-utilities sector. *Journal of Economy and entrepreneurship*. 2020; 12: 1354–1358. (in Russ.) <https://elibrary.ru/item.asp?id=44690518>

6. Karadimas, Nikolaos V., et al. Routing optimization heuristics algorithms for urban solid waste transportation management. *wseas transactions on computers* 7.12, 2022–2031 (2008). <https://www.wseas.us/e-library/transactions/computers/2008/31-698.pdf> (accessed: 02.12.2024)

7. Koushki P.A., U. Al-Duajj, and W. Al-Ghimlas. Collection and transportation cost of household solid waste in Kuwait. *Waste management*. 2004; 24.9: 957–964. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.013> (accessed: 02.12.2024)

8. Eliseeva I.V. New system of solid waste management: essence, positive and negative aspects. *Koncept*. 2019; 11:15–15. (in Russ.) DOI: 10.24411/2304-120X-2019-13069

9. Geng, Yong, Fujita Tsuyoshi, and Xudong Chen. Evaluation of innovative municipal solid waste management through urban symbiosis: a case study

of Kawasaki. *Journal of cleaner production*. 2010; 18. 10–11 993–1000. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.03.003> Get rights and content (accessed: 02.10.2024)

10. Zhang, Yimei, Guo He Huang, and Li He. A multi-echelon supply chain model for municipal solid waste management system. *Waste management*. 2014; 34.2 553–561. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.002> (accessed: 02.10.2024)

11. Kazaryan M.L., Richter A.A., Shakhramanov M.A., Nedkov R.D. *Space monitoring of solid domestic waste and industrial waste disposal facilities (SDW and PO): theoretical, methodological and socio-economic aspects*: monograph. Moscow: Limited Liability Company "Scientific and Publishing Center INFRA-M", 2019. 278 p. EDN ZAIMOL. (in Russ.)

12. Aripov N.YU. Transportation of household waste using hydraulic systems. *Science and Education*. 2020; 1(6): 65–73. (in Russ.)

13. Kashnikov S. V. Prospects for the use of municipal solid waste as an alternative source of energy. *Innovacii i investicii*. 2021; 5: 148–150. (in Russ.)

14. Osmanov I.H. Economic and mathematical model of optimal placement and determination of rational capacities of enterprises for the processing of municipal solid waste (MSW) at the regional level. *Construction economic and environmental management*. 2020; 3 (76): 23–27. (in Russ.) DOI: 10.37279/25-19-44-53-2020-3-23-27

15. Asefi, Hossein, and Samsung Lim. A novel multi-dimensional modeling approach to integrated municipal solid waste management. *Journal of cleaner production*. 2017; 166: 1131–1143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.061> (accessed: 02.10.2024)

16. Asefi, Hossein, Samsung Lim, and Mojtaba Maghrebi. A mathematical model for the municipal solid waste location-routing problem with intermediate transfer stations. *Australasian Journal of Information Systems*. 2015; 19: 21–35. DOI: <https://doi.org/10.3127/ajis.v19i0.1151> (accessed: 02.10.2024)

17. Inghels, Dirk, Wout Dullaert, and Daniele Vigo. A service network design model for multimodal municipal solid waste transport. *European Journal of Operational Research*. 2016; 254.1: 68–79 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.03.036> (accessed: 02.10.2024)

18. Das, Swapan, and Bidyut Kr Bhattacharyya. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*. 2015; 43: 9–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.033> (accessed: 02.10.2024)

19. Nguyen-Trong, Khanh, et al. Optimization of municipal solid waste transportation by integrating GIS analysis, equation-based, and agent-based model. *Waste management*. 2017; 59: 14–22. (2017). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.048> (accessed: 02.10.2024)

20. Sanjeevi, V., and P. Shahabudeen. Optimal routing for efficient municipal solid waste transportation by using ArcGIS application in Chennai, India. *Waste Management & Research*. 2016; 34.1: 11–21. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X15607430> (accessed: 02.10.2024)

21. Yadav, Vinay, and Subhankar Karmakar. Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. *Sustainable Cities and Society*. 2020; 53 101937: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101937> (accessed: 02.10.2024)

22. Alam, R., et al. Generation, storage, collection and transportation of municipal solid waste—A case study in the city of Kathmandu, capital of Nepal. *Waste management*. 2008; 28.6 1088–1097. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.024> (accessed: 02.10.2024)

23. Bakhtin V.A., Bogdanov I.P., Osipov V.P., Rykov Y.G., Smirnov A.A., Sudakov V.A. Optimal scheduling of homogeneous products transportation. *Keldysh Institute PREPRINTS*. 2018; 65: 1–26. (in Russ.) DOI:10.20948/prepr-2018-65

24. YUr'eva N.I., Vitvitsky E.E. Software and mathematical support "Calculation of cargo transportation costs as part of models of micro and very small road transport systems". *Hroniki ob"edinennogo fonda elektronnyh resursov Nauka i obrazovanie*. 2015; 6: (in Russ.) 71–71.

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Витвицкий Е.Е. Формирование направления, цели и задач исследования, теоретических положений, использование математических моделей и методов, результатов исследований в части определения пределов применения технологий областных перевозок ТКО автомобильным транспортом.

Галактионова Е.С. Включенное участие в подготовке, написании и корректировке статьи, анализ нормативной документации, регулирующей сбор и вывоз ТКО, а также исследований отечественных и зарубежных авторов, посвященных перевозке и переработке ТКО.

Юрьева Н.И. Включенное участие в подготовке, написании и корректировке статьи, расчет результатов работы автомобилей и затрат при перевозке ТКО.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Vitvitsky E.E. Formation of the direction, goals and objectives of the study, theoretical provisions, the use of mathematical models and methods, research results in determining the limits of the use of technologies for regional transportation of MSW by road.

Galaktionova E.S. Included participation in the preparation, writing and correction of the article, analysis of regulatory documentation regulating the collection and export of MSW, as well as research by domestic and foreign authors on the transportation and processing of MSW.

Yuryeva N.I. Included participation in the preparation, writing and correction of the article, calculation of the results of the work of cars and the costs of transporting MSW.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Витвицкий Евгений Евгеньевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Организация перевозок и безопасность движения» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644080, г. Омск, просп. Мира, 5), член-эксперт Комиссии по вопросам цифровой и низкоуглеродной трансформации отрасли, ускоренному внедрению новых технологий Общественного совета Минтранса России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0155-8941>,

SPIN-код: 7136-0475,

e-mail: vitvitsky_ee@mail.ru

Галактионова Елена Сергеевна – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Организация перевозок и безопасность движения» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644080, г. Омск, просп. Мира, 5).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6091-5910>,

e-mail: es_galaktionova@inbox.ru

Юрьева Наталья Ивановна – экономист отдела экономического анализа и тарифного регулирования ООО «Магнит» Регионального оператора по обращению с твердыми коммунальными отходами Омской области (644024 г. Омск, ул. Декабристов, 45/1).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1224-020X>,

SPIN-код: 6773-4214,

e-mail: yureva_ni@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vitvitsky Evgeny E. – Dr. of Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Transport Organization and Traffic Safety Transportation Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (5, Prospect Mira, Omsk, 644080), expert member of the Commission on Digital and Low Carbon Transformation of the Industry, Accelerated Implementation of New Technologies of the Public Council of the Russian Ministry of Transport.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0155-8941>,

SPIN-code: 7136-0475,

e-mail: vitvitsky_ee@mail.ru

Galaktionova Elena S. – Cand. of Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department "Organization of Transportation and Traffic Safety", Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (5, Prospect Mira, Omsk, 644080).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6091-5910>,

SPIN-code: 2954-7104,

e-mail: es_galaktionova@inbox.ru

Yurieva Natalya I. – economist at the Department of Economic Analysis and Tariff Regulation of Magnit LLC, a regional operator for solid municipal waste management in the Omsk Region (45/1 Dekabristov str., Omsk, 644024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1224-020X>,

SPIN-code: 6773-4214,

e-mail: yureva_ni@mail.ru