



РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТОКОВ ТКО НА УРОВНЕ МАРШРУТОВ

В. В. Рубинов, В. А. Фетисов

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Во всем мире ежеминутно производится огромное количество отходов. Вопросы организации эффективной системы работы с отходами, являются очень актуальными. От правильно организованной системы накопления, транспортировки, обработки или утилизации зависит экономическая эффективность и затраты пользователей системы. В статье рассмотрен процесс работы с отходами в городах России. Описаны техника и методы работы с отходами в крупных городах на первой ступени вывоза. Сформулирована задача оптимизации территориальной схемы вывоза твердых коммунальных отходов. Описан и рассмотрен технологический процесс работы мусоровоза первого плеча на маршруте. Сформулированы критерии и факторы, влияющие на выбор оптимального маршрута. Описаны необходимые исходные данные для расчёта оптимальной схемы тяготения отходов. Построена функция совокупных издержек на маршруте.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, мусор, система обращения отходов в Санкт-Петербурге, транспортное предприятие, переработка, транспортная задача.

Для цитирования:

Рубинов В. В., Фетисов В. А. Разработка модели оптимизации потоков ТКО на уровне маршрутов // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №4(30), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 68-75. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-4-68-75.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR OPTIMIZING MUNICIPAL SOLID WASTE STREAMS AT THE ROUTE LEVEL

V. V. Rubinov, V. A. Fetisov

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

All over the world, a huge amount of waste is generated every minute. The organization of an effective waste management system is very topical. The economic efficiency and costs of the users of the system depend on a properly organized system of accumulation, transportation, processing or disposal. The article discusses the process of working with waste in the cities of Russia. The technique and methods of working with waste in large cities at the first stage of removal are described. The problem of optimization of the territorial scheme for the disposal of solid municipal waste has been formulated. The technological process of operation of the first leg garbage truck on the route is described and considered. The criteria and factors influencing the choice of the optimal route are formulated. The necessary initial data for calculating the optimal scheme of waste gravitation are described. The function of total route costs has been built.

Key words: municipal solid waste, garbage, waste management system in St. Petersburg, transport enterprise, processing, transport task.

For citation:

Rubinov V. V., Fetisov V. A. Development of a model for optimizing municipal solid waste streams at the route level // System analysis and logistics.: №4(30), ISSN2007-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 68-75. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-4-68-75.

Введение

Во всем мире ежеминутно производится огромное количество отходов. Вопросы организации эффективной системы работы с отходами, являются очень актуальными. От правильно организованной системы накопления, транспортировки, обработки или утилизации зависит экономическая эффективность и затраты пользователей системы. С одной стороны, предприятиям необходимо оптимизировать эксплуатационные затраты, а с другой потребители системы требовательны к размеру тарифов на утилизацию твердых коммунальных отходов.



В разных уголках мира ситуация обстоит по-разному, но нельзя сказать, что, хотя бы в одной стране система работает идеально. Реформа ТКО, провозглашенная в 2019 в России году, призвана зарегулировать эту сферу деятельности [1].

Суть реформы заключается в нескольких основных положениях, а именно:

1. передача полномочий по организации системы обращения с твердыми коммунальными отходами на региональный уровень;
2. выделение услуги по вывозу и сортировке мусора из числа коммунальных;
3. изменение схемы обращения с ТКО;
4. обязательное привлечение единого регионального оператора в качестве исполнителя;
5. изменение схемы формирования платежей за вывоз и сортировку ТКО [2].

В условиях работы с институтом регионального оператора предприятия связанные с системой работы с отходами особенно остро нуждаются в построении эффективной системы работы и минимизации своих затрат.

Структура процесса работы с отходами

Сфера работы с отходами в сильнее всего зависит от системы транспорта, то есть, наиболее чувствительна к организации эффективной транспортной работы. Общая структура процесса обращения отходов представлена ниже на рисунке 1. Из рисунка следует, что ключевым связывающим фактором работы системы является транспортировка. Кроме того, транспортировка является сферой, в которой сокращение затрат связано не только с вопросами привлечения инвестиций и капиталовложениями. Иными словами, эффективно организованная система транспортировки способна влиять на сокращение издержек без привлечения дополнительных инвестиций.

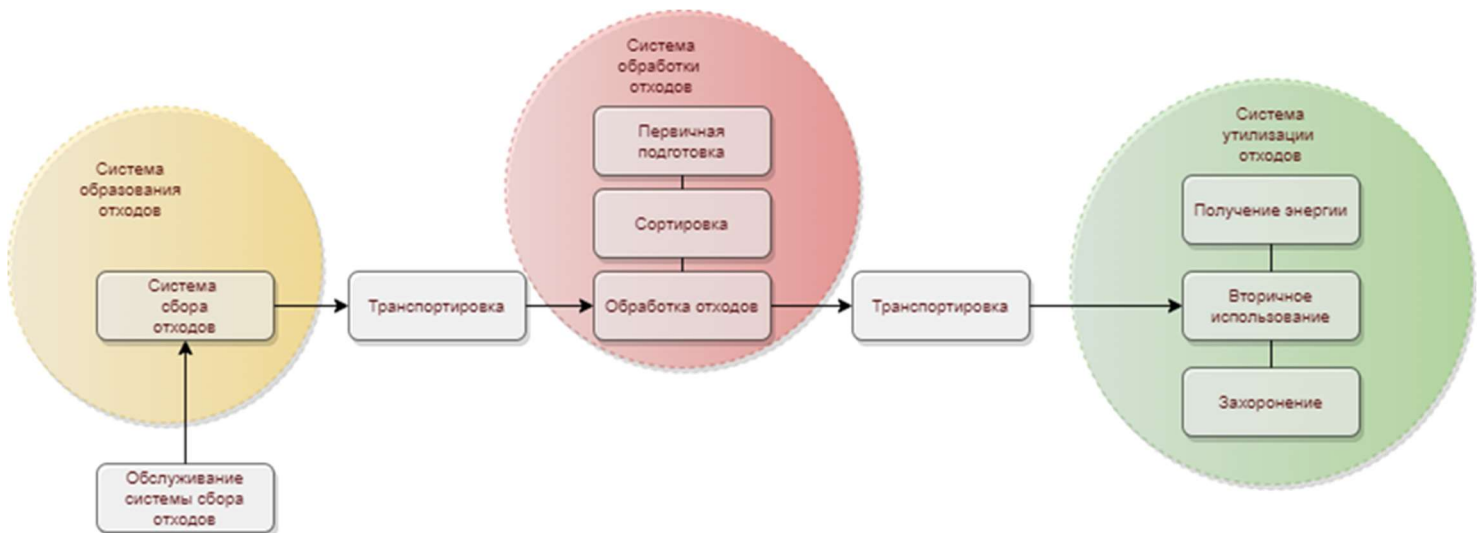


Рис. 1. Структура процесса работы с отходами [3]

Вывоз отходов из крупных мегаполисов, таких как Санкт-Петербург, в большинстве случаев организован по двухступенчатой модели, где первая ступень — это транспортировка отходов до перегрузов или станций обработки отходов, а вторая – транспортировка отходов в составе автопоездов на полигоны. В качестве примера на рисунке 2 представлена схема образования твёрдых коммунальных отходов в Санкт-Петербурге и их размещение в 2020 г.



согласно «Концепции долгосрочной целевой инвестиционной программы обращения с твёрдыми бытовыми и промышленными отходами в Санкт-Петербурге на 2012 – 2020 году» [1]. На схеме нанесены объекты тяготения отходов внутри городской черты. Подробнее схемы тяготения потоков можно изучить, используя актуальную территориальную схему тяготения потоков ТКО в Санкт-Петербурге.

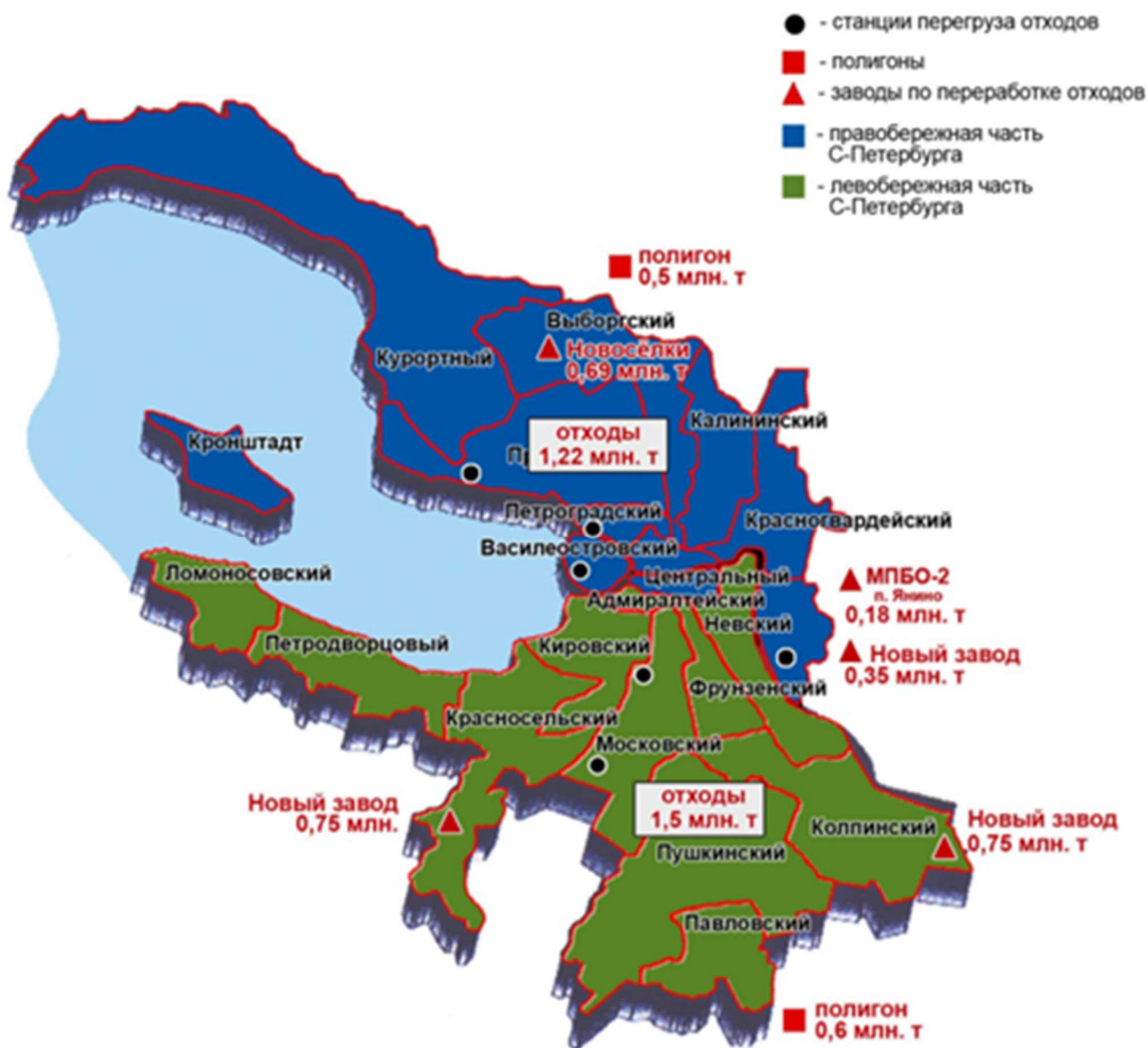


Рис. 2. Схема образования отходов [4]

Задача регионального оператора и транспортных компаний не только построить территориальную схему тяготения потоков ТКО к полигонам и конечным точкам жизненного цикла ТКО, но грамотно распределить потоки на микроуровне по станциям перегруза. Очевидно, что одним из основных экономически значимых моментов в модели является построение территориальной схемы тяготения потоков отходов к пунктам перегруза и обработки отходов.

Для анализа и оптимизации системы на микроуровне необходимо проанализировать



технологический процесс сбора отходов в мегаполисах.

Технологический процесс работы мусоровоза

Для сбора и транспортировки отходов во всем мире используются мусоровозы в бункерными прессующими установками (пример рисунок 3), которые позволяют осуществлять сбор из контейнеров и накопителей разного вида, и уплотняют отходы с помощью пресса. Современные бункеры имеют коэффициент прессования до 6 при объеме бункера более 20 м³.



Рис. 3. Мусоровоз с бункером NTM [5]

Технологически процесс работы мусоровоза можно выразить в следующих базовых рабочих циклах:

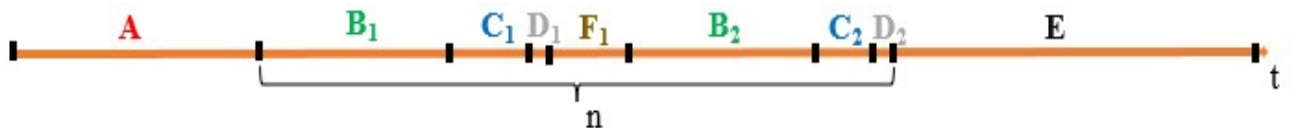


Рис. 4. Технологическая схема работы мусоровоза на первой ступени

На рисунке 4:

- А – движение от базы к месту сбора отходов;
- В_{1,2} – работа в режиме сбора;
- С_{1,2} – движение на станцию перегруза;
- D_{1,2} – разгрузка;
- F₁ – движение со станции перегруза к месту сбора;
- E – движение на базу после последней разгрузки;



- t - время работы мусоровоза на линии;
- n – количество циклов разгрузки в рамках работы на линии.

При изменении и оптимизации территориальных схем тяготения потоков ТКО внутри города, маршруты сбора отходов (В) можно рассматривать статически неизменными, ввиду того что они формируются по коммерческим причинам, не связанным с территориальной схемой тяготения ТКО. Логистическая оптимизация цикла сбора отходов возможна и необходима, но является отдельной задачей. Площадки стоянки автотранспорта также останутся неизменными что делает плечо движения от базы до места сбора (А) статически неизменным.

Таким образом, при расчете наиболее эффективной территориальной схемы тяготения отходов к станции перегруза, влияние оказывают циклы движения на станцию перегруза и с нее к месту сбора (С и F), а также плечо возвращения на базу в конце выполнения маршрута (F). Эти циклы напрямую зависят от схемы тяготения потоков вывоза отходов. Графическая визуализация условной работы мусоровоза на линии представлена на рисунке 5.

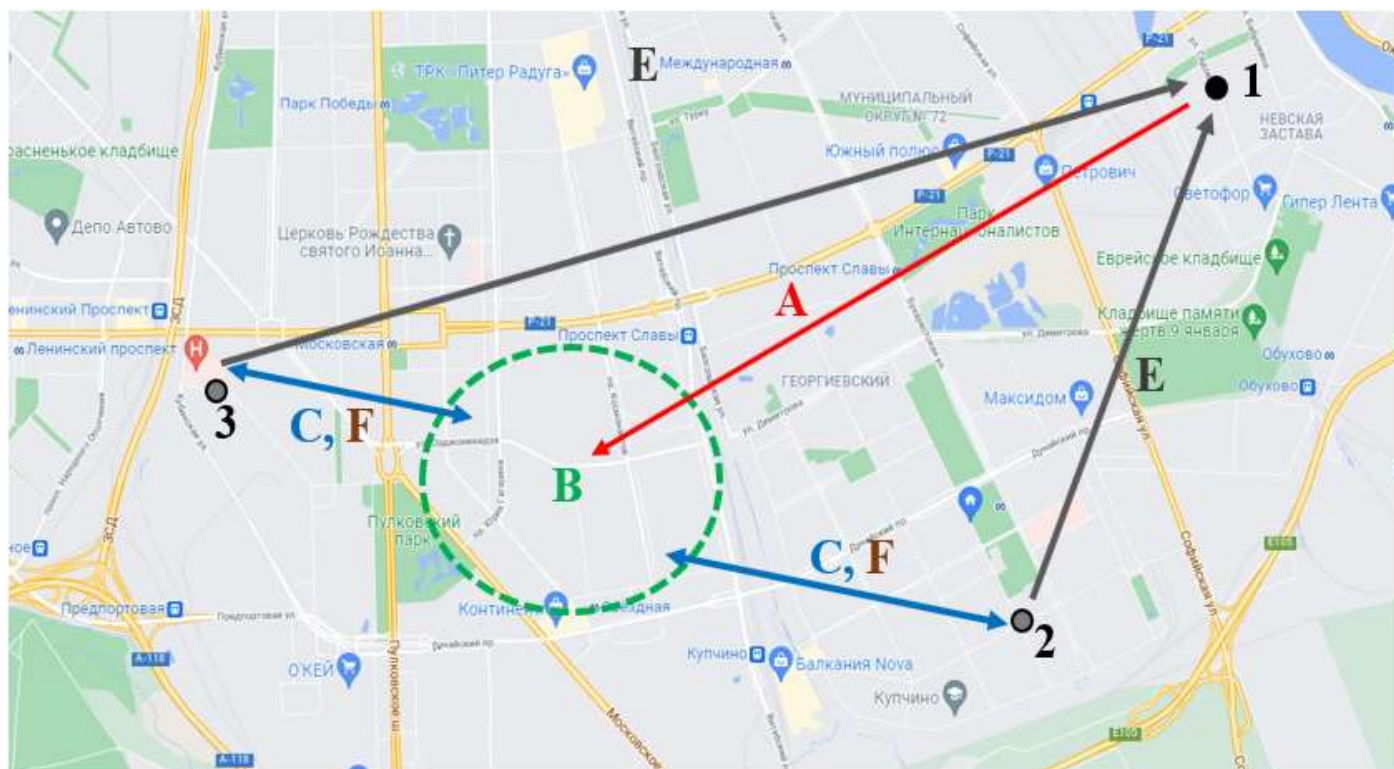


Рис. 5. Графическое изображение маршрута при выборе альтернативных перегрузов

В модели рассматривается схема n разгрузок на маршруте, потому как на сегодняшний день, мусоровозы в крупных городах за маршрут совершают от 2 до 4 разгрузок за рабочую смену.

Основными параметрами, определяющими расходы на анализируемых участках маршрута, являются: сокращение расход топлива на маршруте, сокращение времени работы и сокращение общих издержек в пересчете на тонну ТКО.



Для расчета необходимо иметь следующий набор исходных данных:

- 1) Среднее расстояния до перегрузов от мест сбора.
- 2) Средний расход топлива мусоровоза в разрезе циклов транспортировки.
- 3) Стоимость литра топлива.
- 4) Стоимость часа рабочего времени водителя.
- 5) Средний вес разгрузки полного мусоровоза.
- 6) Средний вес последнего рейса мусоровоза (современные маршруты не всегда позволяют, комплектовать маршруты кратно полностью загруженным автомобилям).
- 7) Пересчет ремонтных и общепроизводственных расходов на километр пути мусоровоза.

Критерий выбора территориальной схемы для маршрута имеет вид (формула 1):

$$T_{сов} = \sum_{n=1}^N T_c + T_F + T_E \rightarrow \min \quad (1)$$

где $T_{сов}$ - совокупные издержки;

$\sum_{n=1}^N$ - количество разгрузок на маршруте;

T_c - расходы при движении на станцию перегруза;

T_F - расходы при движении со станции перегруза на территорию сбора;

T_E - расходы при движении со станции перегруза на базу.

Для предприятия, имеющего M маршрутов модель общей оптимизации при выборе перегруза, имеет вид (формула 2):

$$T_{сов} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N T_c + T_F + T_E \rightarrow \min \quad (2)$$

где $T_{сов}$ - совокупные издержки;

$\sum_{m=1}^M$ - количество маршрутов;

$\sum_{n=1}^N$ - количество разгрузок на маршруте;

T_c - расходы при движении на станцию перегруза;

T_F - расходы при движении со станции перегруза на территорию сбора;

T_E - расходы при движении со станции перегруза на базу.

Заключение

При решении задачи оптимизации с точки зрения мегаполиса и регионального оператора данный критерий должен рассматриваться в виде совокупности городских маршрутов. В модель должны быть заложены ограничения в виде, мощности перегрузов, тарифов на



обработку, времени обслуживания мусоровоза на перегрузе и т.д. Рациональнее всего формулировать задачу в категориях методов оптимизации сложных систем. Данную модель от классической транспортной задачи отличает необходимость совершения нескольких разгрузок на одном маршруте и необходимость возвращения на базу в конце рабочей смены, однако эти изменения можно учесть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон РФ № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», принят государственной думой 22.05.1998 г. Постановлением № 2491-П ГД, подписан президентом РФ 24.06.1998 г. с изменениями по состоянию на 18.12.2006. [Электронный ресурс] – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения 07.11.2021).
2. Черезова Н. В. Проблемы утилизации твердых коммунальных отходов в связи с реализацией мусорной реформы в городском округе город Тюмень // Московский экономический журнал – 2020. – 1 – С. 1-15.
3. Problems of a Modern Approach to the Technological Process of Waste Management Conference Proceedings: 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONE) Author: V. V. Rubinov Publisher: IEEE Date: 31 May 2021 Copyright © 2021, IEEE
4. Рубинов В. В. Оценка динамики роста отходов в Санкт-Петербурге // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(25), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП. – 2020 – с. 3-8. РИНЦ. DOI: 10.31799/2007-5687-2020-3-3-8.
5. Мусоровозы с задней загрузкой [Электронный ресурс]. – URL: <https://ntmrus.ru/catalog/z-z/> (дата обращения 07.11.2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рубинов Владислав Валерьевич -

Аспирант, инженер кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: vvr1071995@mail.ru

Фетисов Владимир Андреевич –

профессор, д.т.н., заведующий кафедрой системного анализа и логистики
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: Fet1@aanet.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Rubinov Vladislav Valerievich -

Postgraduate student, Engineer of the Department of System Analysis and Logistics
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: vvr1071995@mail.ru



Fetisov Vladimir Andreevich –
professor, PhD. tech. Sciences, head of the department of system analysis and logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: Fet1@aanet.ru