

Экономика и инновации / Economy and innovations

Оригинальная статья / Original article

УДК 330

<https://doi.org/10.31432/1994-2443-2024-19-1-29-47>

Подходы к разработке системы вывоза бытовых отходов

В.Г. Ханутин ✉, **А.В. Синицын**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет»,
г. Москва, Российская Федерация

✉ vgk2001@yandex.ru

Аннотация. *Цель.* Изучение подходов и мировых тенденций к вывозу, сортировке и переработке бытовых отходов, а также описание прототипа системы вывоза мусора.

Методы. Предложены методы сортировки, переработки и утилизации отходов.

Результаты. Обоснована необходимость решения проблемы утилизации отходов в современных условиях, получены результаты анализа подходов к сбору, сортировке и переработке мусора в разных странах, приведен обзор литературы, описан прототип системы вывоза мусора.

Выводы. Для обеспечения снижения уровня загрязнения окружающей среды и, как следствие, сокращения количества свалок, необходимо объединить, оптимизировать и адаптировать мировые подходы и тенденции к сбору, сортировке, переработке и утилизации отходов.

Ключевые слова: вывоз мусора, утилизация бытовых отходов, переработка бытовых отходов, экологический кризис, умное управление отходами

Финансирование. Финансирование отсутствовало.

Для цитирования: Ханутин В.Г., Синицын А.В. Подходы к разработке системы вывоза бытовых отходов. *Информация и инновации*. 2024;19(1):29-47. <https://doi.org/10.31432/1994-2443-2024-19-1-29-47>

Approaches to developing a household waste removal system

V.G. Khanutin ✉, A.V. Sinitsyn

MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

✉ vvk2001@yandex.ru

Abstract. *Purpose.* To study approaches and global trends in the removal, sorting and processing of household waste, as well as to describe a prototype waste removal system.

Methods for sorting, processing and disposal of waste are proposed.

Results. The need to solve the problem of waste disposal in modern conditions is substantiated, the results of an analysis of approaches to collecting, sorting and processing waste in different countries are obtained, a literature review is provided, and a prototype of a waste removal system is described.

Conclusions. The author concludes that in order to ensure a reduction in the level of environmental pollution and, as a consequence, a reduction in the number of landfills, it is necessary to combine, optimize and adapt global approaches and trends in the collection, sorting, processing and disposal of waste.

Keywords: garbage removal, household waste disposal, household waste recycling, environmental crisis, smart waste management

Funding. No funding.

For citation: Khanutin V.G., Sinitsyn A.V. Approaches to developing a household waste removal system. *Information and Innovations*. 2024;19(1):29-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.31432/1994-2443-2024-19-1-29-47>

Введение

С каждым годом в России растёт количество свалок и, соответственно, ухудшается состояние почвы, загрязняется воздух. Данная проблема обусловлена отсутствием эффективных методов и систем вывоза, сортировки и переработки отходов. Необходимо изучить мировые практики и тенденции в области утилизации и переработки отходов и создать такую систему, которая была бы оптимальна для граждан России и, одновременно, эффективна в контексте вывоза, сортировки, переработки и утилизации отходов. В данной статье рассматривается экологическая проблема утилизации отходов в международном аспекте и в России, а также предлагается оптимальная система вывоза и переработки отходов.

Целью статьи является изучение подходов и мировых тенденций к вывозу, сортировке и переработке бытовых отходов, а также описание прототипа системы вывоза мусора.

1. Экологический кризис

По данным Росприроднадзора, в Российской Федерации в 2022 году количество несанкционированных свалок составило 12795¹.

По данным аналитической службы аудиторско-консалтинговой сети FinExpertiza, процент твердых коммунальных отходов (ТКО), подлежащих захоронению, составил 79,9% на ноябрь 2023 года. Утилизации же подлежит 12,7% общей массы ТКО². На рисунке 1 представлен график доли захороненных ТКО в 2023 г.

¹ Количество несанкционированных свалок отходов [Электронный ресурс]. URL: <https://http.rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/unauthorized-landfill/?ysclid=lu2mjsque2464070343>

² В России захоранивается 80% бытового мусора. [Электронный ресурс]. URL: <https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2023/zakh-80-musora/>

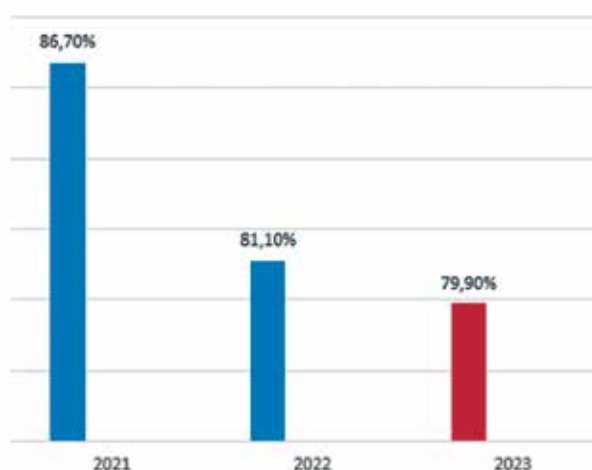


Рис. 1. Доля захороненных ТКО в 2023 г. по месяцам накопительным итогом

Fig. 1. Share of disposed MSW in 2023 by month cumulative total

Источник / Source: ФинЭкспертиза / FinExpertiza

(<https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2023/zakh-80-musora/>)

2. Утилизация мусора в разных странах

В Швейцарии действует сложная система сбора и переработки отходов с участием жителей, которые сортируют мусор по видам отходов: алюминиевые банки, стеклянные бутылки, макулатура и пластик. Крупногабаритный мусор граждане отвозят на специальные пункты при мусоросжигательных заводах. В стране действует закон, обязывающий утилизировать мусор через сжигание, а не складирование. Энергию, вырабатываемую при сжигании мусора, используют для отопления жилых домов, а из пепла извлекают цветные металлы.

В Германии была внедрена уникальная система сортировки и утилизации мусора с использованием контейнеров разного цвета для определенных видов отходов. Например, для макулатуры предназначены синие контейнеры, жёлтые — для

пластика, а в серые выбрасываются - пищевые отходы.

Подрядчики, занимающиеся вывозом мусора, получают лицензии, а график вывоза мусора составляется на весь год и рассылается жителям по почте. Мусоросжигательные заводы работают круглосуточно, и 2/3 мусора подвергается переработке, а 1/3 — сжигается. Эта система утилизации мусора позволяет получать электроэнергию и тепло из отходов, что способствует экономии ресурсов.

В Японии существует система сортировки и утилизации мусора, схожая с немецкой. Эта система включает в себя отдельные контейнеры для различных видов мусора, а также точный график вывоза мусора по дням. Если мусор не отсортирован или содержит неподходящие материалы, мусоровоз его не заберет. В Токио находится 22 современных предприятия по утилизации мусора. На каждом предприятии находится ТЭЦ. Энергия, вырабатываемая при сжигании мусора, направлена на обеспечение работы этих предприятий, а пепел, который образуется в результате сжигания мусора, используется при создании насыпных островов.

В США программа утилизации включает финансирование проектов по переработке и повторному использованию мусора. Процесс начинается с сортировки отходов дома, где жители сортируют и упаковывают мусор, который затем собирается и перерабатывается переработчиком. В некоторых штатах законодательно установлено обязательство сдавать определенный процент отходов на переработку. Кроме того, американцы сдают на переработку технику, лампочки, покрышки и обувь.

Процесс сортировки и утилизации мусора в разных странах различается, но одинаково полезен для экологии и насе-

ления как страны, в которой он утилизируется, так и для всей планеты в целом³.

В России отходы не сортируются систематически, граждане выбрасывают мусор в один контейнер, мусоровоз вывозит отходы на свалки и в дальнейшем этот мусор сжигается либо закапывается. Это связано с тем, что некоторые предложения граждан не осуществлялись по предписаниям закона. Также не проводилась работа в рамках популяризации сортировки и переработки отходов. Наконец, попросту отсутствовали предприятия по сортировке и утилизации.

В большинстве стран количество общих образующихся отходов продолжает увеличиваться в соответствии с ростом численности населения и экономическим ростом. Количество образующихся отходов, их состав и происхождение различаются в разных странах; они связаны со структурой экономики и уровнем инвестиций в инновации и более чистые технологии [1].

3. Обзор литературы

Для управления отходами были предложены различные подходы, например, концепция управления отходами с использованием системного анализа твердых отходов [2]. Авторы использовали эту концепцию для определения схем управления для стран Европейского Союза и сделали упор на разработку новых стратегий и моделей для преодоления проблем управления отходами.

Еще одним интересным примером является применение управления отходами в высокоприоритетных областях [3]. Авторы принимают во внимание негативное воздействие отходов и определяют кон-

³ Утилизация мусора в разных странах [Электронный ресурс]. URL: <https://f-musor.ru/articles/2019/11/21/tehnologii-utilizacii-musora-v-peredovyh-stranax/>

цепцию Интернета вещей (IoT — Internet of Things), чтобы минимизировать время, необходимое для обслуживания высокоприоритетных областей. Концепция IoT включает в себя два вида грузовиков, которые занимаются вывозом мусора для снижения эксплуатационных затрат на вывоз мусора.

Также была разработана система устойчивого комплексного управления отходами (IWMS — Integrated workplace management system) в умном городе [4]. Авторы предложили систему поддержки принятия решений для минимизации выбросов углекислого газа IWMS. Результаты показали более высокую эффективность управления отходами на примере реальной работы.

В случае с отходами в «умных» городах была разработана система «умных» мусорных баков, которая определяет заполненность мусорных баков. Авторы предположили, что идея разработки системы «умных» мусорных контейнеров повысит осведомленность центров сбора, чтобы избежать ненужной транспортировки для сбора мусора [5].

Эффективна процедура, позволяющая справиться с неопределенностью, связанной с реальным уровнем заполнения мусорного бака [6]. Авторы предложили использовать датчики для мусорных баков в качестве Интернета вещей для определения информации в реальном времени. Кроме того, в статье предлагается модель маршрутизации транспортного средства VRP (vehicle routing problem) для минимизации общего расстояния и модель для максимизации общей прибыли от сбора отходов. Управление отходами включает в себя не только сбор полевых отходов, но и проблему выбора мест для их транспортировки и утилизации. Умным городам необходима эффективная инфраструкту-

ра Интернета вещей для уведомления об отходах в сети цепочки поставок. Метод VRP — это хорошо известный подход, который учитывает планирование автопарка в городах [7].

Устойчивый подход к ТКО крайне необходим в развивающихся странах. В связи с этим была разработана многоцелевая модель, учитывающая сбор и сортировку твердых бытовых отходов [8]. Помимо этого, авторы учитывали неопределенности, обусловленные естественным инстинктом предлагаемого вопроса. Для применения при разделении твердых бытовых отходов использовалась новая теория запланированного поведения [9]. Результат показал, что «отношение» и «ситуационные факторы» были двумя важными факторами, влияющими на намерения общественности к разделению бытовых отходов в самом начале.

4. Оборудование для умного управления отходами

Помимо методик переработки мусора существуют и умные технологии сбора и переработки, которые упрощают и улучшают эти методики.

- **Умные мусорные баки**

Для оптимизации сортировки отходов польская компания Bin-e создала умный мусорный бак на базе искусственного интеллекта, который распределяет выбрасываемый мусор по категориям. После распределения отходов по категориям бак прессует их и контролирует уровень заполнения каждого отсека. Такая технология позволяет сократить расходы на управление отходами на 80%.

- **Датчики уровня отходов**

Для оптимизации сбора отходов подрядчики устанавливают в контейнеры для мусора датчики уровня отходов, позволяющие контролировать уровень отходов

каждого бака. Это позволяет снижать затраты на транспорт.

• Уплотнители мусора на солнечных батареях

Компания Ecube Labs создала устройство, работающее на солнечной батарее, которое прессует мусор, что обеспечиваеткратно большую вместимость. Данная технология также позволяет снизить затраты на транспортировку.

• Киоски для электронных отходов

Компания ecoATM, выпустила серию киосков по переработке электронных отходов. В таких киосках есть возможность “продавать” свою технику, аппарат выдаст наличные в обмен на неё.

Более подробно ниже будет рассмотрен ультразвуковой датчик уровня, который применяется для отслеживания заполняемости контейнеров.

«Ультразвуковые датчики излучают высокочастотные звуковые импульсы с заданной периодичностью, которые распространяются в воздухе со скоростью звука. При встрече с объектом, звуковая волна отражается от него и возвращается обратно к датчику в виде эха. Датчик воспринимает этот сигнал и рассчитывает расстояние до объекта, основываясь на временном промежутке между моментом излучения сигнала и получением отраженного эха. Благодаря этому принципу, возможно измерение расстояния до любых отражающих звук материалов, независимо от их цвета, прозрачности, электропроводности и т.д.»⁴.

Стоит отметить, что, в качестве альтернативы дорогим датчикам возможен и более дешевый и простой вариант — видеокамера.

⁴ Ультразвуковые датчики с аналоговым и дискретным выходами [Электронный ресурс].

URL: https://kipservis.ru/microsonic/obshie_svedenia.htm

5. Схема оптимальной установки контейнеров

Оптимальная схема позволит упростить утилизацию мусора, минимизируя сумму расстояний от каждого пользователя до места сбора.

Существует алгоритм Вайсфельда для определения геометрического центра множества точек. Его идея заключается в том, чтобы найти решение, позволяющее определять такую точку на местности, которая будет оптимальна для установки контейнеров для сбора мусора, чтобы пользователям было удобно добираться до них.

Если задано множество, содержащее m точек $X_1, X_2, \dots, X_m$ где все $X_i \in \mathbb{R}^n$, геометрический центр Z определяется как

$$Z = \arg \min_{y \in \mathbb{R}^n} \sum_{i=1}^m \|X_i - y\|_2 \quad (1)$$

где X_i — точка из множества;

y — точка, на которой достигается минимальная сумма;

$\mathbb{R}^n$ — метрическое пространство.

В данном случае $\arg \min$ означает значение аргумента y , на котором достигается минимальная сумма. Это точка y , для которой сумма всех евклидовых расстояний до X_i , минимальна⁵. На рисунке 2 приведен пример минимальной суммы путей жителей и минимальная сумма маршрутов вывоза. Жёлтым цветом обозначены геометрические центры множества точек, красным — места жительства пользователей, а зеленым — центр сбора.

⁵ Геометрический центр [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Геометрический_центр

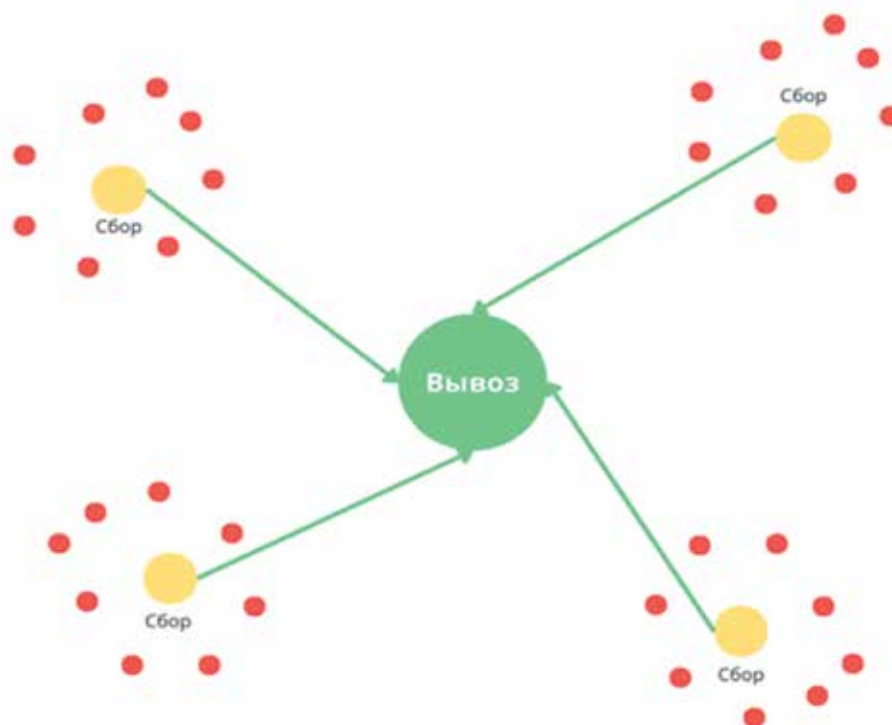


Рис. 2. Минимальная суммы путей жителей и минимальная сумма маршрутов вывоза
Fig. 2. Minimum sum of resident routes and the minimum sum of export routes

Для оптимальной расстановки мусорных баков необходимо применить модули, которые прокладывают маршрут от точки А до точки В для пешеходов⁶. Тогда расстояния от точки А до точки В будут высчитываться не по прямой, а вдоль проложенных маршрутов.

6. Планирование оптимальных маршрутов

При вывозе мусора важным фактором является планирование оптимальных маршрутов, для которых применяются эффективные модели оптимизации VRP.

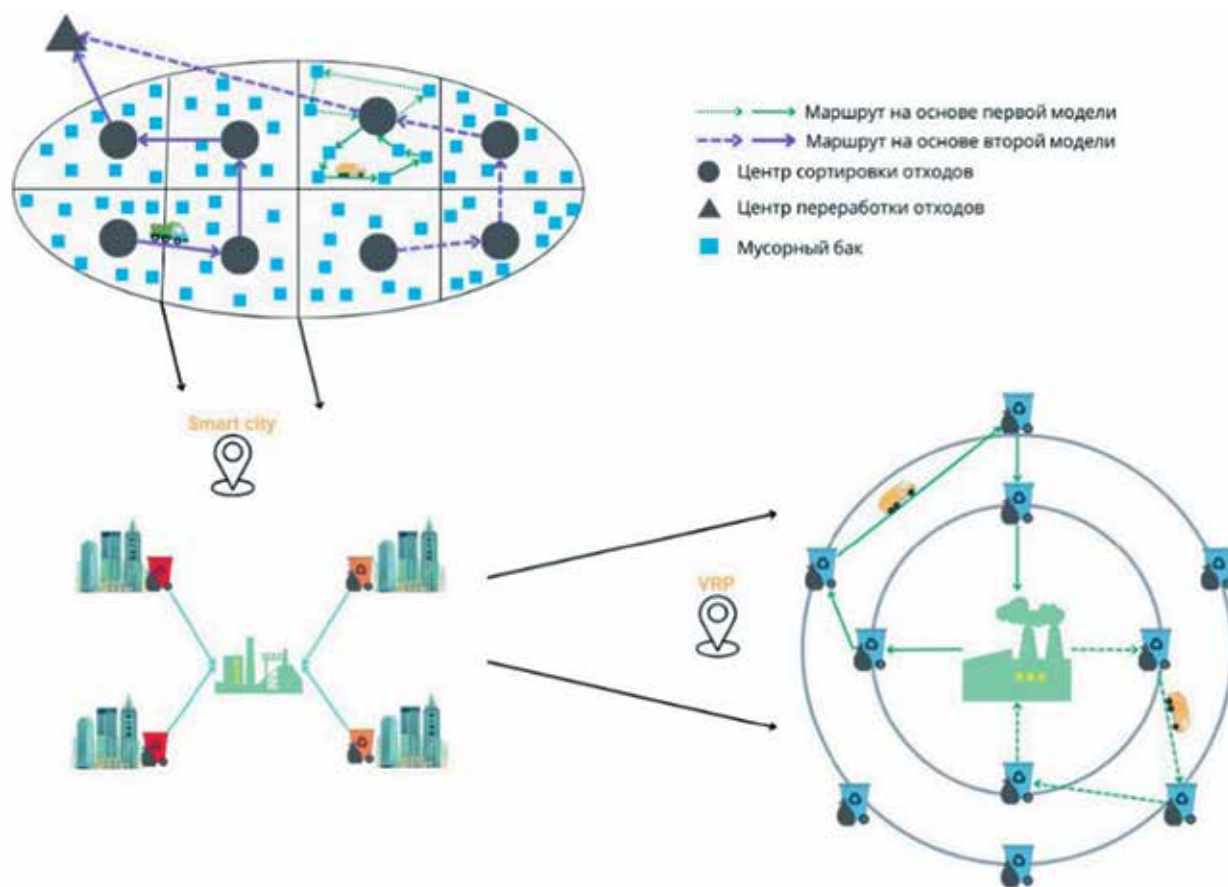
VRP — общее название для целого класса задач, в которых для нескольких разбросанных городов или клиентов должен быть определен набор маршрутов

⁶ Примеры API матрицы расстояний [Электронный ресурс] URL: https://yandex.ru/dev/distance_matrix/doc/ru/examples

для транспортных средств, расположенных на одном или нескольких складах [10].

Варианты модели оптимизации VRP представлены на рисунке 3. Первый вариант разработанной модели оптимизации VRP предназначена для сбора отходов из всех контейнеров на минимальном расстоянии. Второй вариант разработанной модели контролирует количество отходов, которые должны быть доставлены из центров сортировки на пункт переработки. Тип и состояние отходов позволяют сортировать их в центрах сортировки.

Задачу VRP эффективно решать с помощью методов SA (Simulated annealing) и GA (Genetic Algorithms), а также такие их модификации, как GASA (Genetic Algorithm Based Simulated Annealing)

**Рис. 3.** Схема сбора отходов**Fig. 3.** Waste collection scheme

Источник / Source: [14]

и GAPSO (Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization).

«SA — общий алгоритмический метод решения задачи глобальной оптимизации, особенно дискретной и комбинаторной оптимизации. Алгоритм основывается на имитации физического процесса, который происходит при кристаллизации вещества, в том числе при отжиге металлов. Предполагается, что атомы вещества уже почти выстроены в кристаллическую решётку, но ещё допустимы переходы отдельных атомов из одной ячейки в другую. Активность атомов тем больше, чем выше температура, которую постепенно понижают, что приводит к тому, что ве-

роятность переходов в состояния с большей энергией уменьшается. Устойчивая кристаллическая решётка соответствует минимуму энергии атомов, поэтому атом либо переходит в состояние с меньшим уровнем энергии, либо остаётся на месте. (Этот алгоритм также называется алгоритмом Н. Метрополиса, по имени его автора)» [11].

«GA — эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Зада-

ча формализуется таким образом, чтобы её решение могло быть закодировано в виде вектора («генотипа») генов, где каждый ген может быть битом, числом или неким другим объектом. В классических реализациях GA предполагается, что генотип имеет фиксированную длину. Однако существуют вариации GA, свободные от этого ограничения. Некоторым, обычно случайным, образом создаётся множество генотипов начальной популяции. Они оцениваются с использованием «функции приспособленности», в результате чего с каждым генотипом ассоциируется определённое значение («приспособленность»), которое определяет насколько хорошо фенотип, им описываемый, решает поставленную задачу. При выборе «функции приспособленности» (fitness function) важно следить, чтобы её «рельеф» был «гладким». Из полученного множества решений («поколения») с учётом значения «приспособленности» выбираются решения (обычно лучшие особи имеют большую вероятность быть выбранными), к которым применяются «генетические операторы» (в большинстве случаев «скрещивание» — crossover и «мутация» — mutation), результатом чего является получение новых решений. Для них также вычисляется значение приспособленности, и затем производится отбор («селекция») лучших решений в следующее поколение» [12].

Алгоритм GAPSO представляет собой гибридное сочетание генетического алгоритма и оптимизации роя частиц. Этот алгоритм используется для оптимизации распределения фаз в различных задачах. Результаты исследований показывают, что предложенная стратегия достигает желаемого эффекта оптимизации и превосходит базовые алгоритмы, такие как «алгоритм колонии муравьёв» (ACO — Ant

colony optimization), алгоритм «оптимизации роя частиц» (PSO — Particle swarm optimization) в решении задач оптимизации. Основной вклад работы заключается в улучшении модифицированного алгоритма оптимизации колонии муравьёв для эффективного решения задач [13].

GASA основан на методе имитации отжига, представляет собой гибридный подход, который комбинирует принципы генетических алгоритмов и метода имитации отжига для решения сложных задач оптимизации. Генетические алгоритмы работают путем поддержания популяции решений, которые отражают разнообразный набор точек в пределах допустимой области, в то время как метод имитации отжига использует аналогию с физическим процессом отжига для поиска оптимального решения. При использовании гибридного подхода генетический алгоритм может использовать принципы отбора, скрещивания и мутации, а метод имитации отжига внедряет стохастические элементы во избежание застревания в локальных минимумах. Такое сочетание позволяет улучшить процесс оптимизации и повысить эффективность поиска оптимального решения⁷.

В табл. 1 приведены примеры настраиваемых параметров для алгоритмов [14].

На рисунке 4 рассматривается сравнение поведения алгоритмов SA, GA, GASA, GAPSO.

Для проверки характеристики разработанной модели проводится анализ чувствительности на некоторых из наиболее критических параметров. Для средней тестовой задачи выбраны четыре транспортных средства и 120 контейнеров.

⁷ Simulated annealing and genetic algorithms CE 377K Stephen D. Boyles Spring 2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://sboyles.github.io/teaching/ce377k/heuristics.pdf>

Таблица 1. Используемые алгоритмы и параметры
Table 1. Algorithms and parameters used

Algorithm	Parameters
SA	Sub-it = 25; T0 = 1300; R = 0.999; Tm = Reversion
GA	n-pop = 40; PC = 0.7; Pm = 0.2; Rm = 0.03; Tc = Random
GASA	n-pop = 45; PC = 0.75; Sub-it = 25; T0 = 1300; R = 0.999
GAPSO	n-pop = 45; PC = 0.75; MS = 4; W = 0.7; C1 = 1.6; C2 = 1.6

Источник / Source: [14]

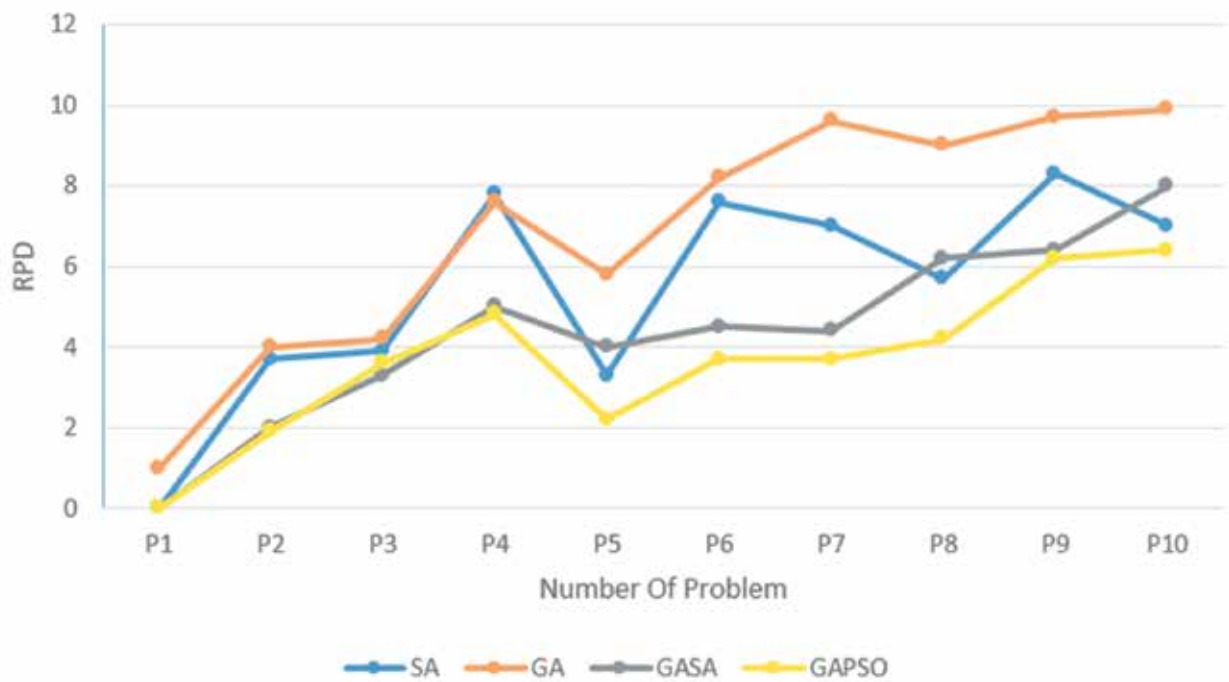


Рис. 4. Сравнение поведения алгоритмов
Fig. 4. Comparison of algorithm behavior
Источник / Source: [14]

Представлены вместимость транспортного средства, расстояние и собранный мусор, а также разработаны показатели Tightness1 и Tightness2 для оценки эффективности тестовой задачи. Tightness1 показывает, сколько мусора может быть собрано в определенной вместимости, при этом более высокие значения показывают, что транспортные средства спо-

собны собирать больше мусора в каждой области. Tightness2 учитывает собранный мусор на расстоянии, что показывает способность модели находить оптимальный маршрут, который транспортное средство может выбрать и перевозить наибольшее количество доступного мусора. Подобно Tightness1, Tightness2 является еще одной шкалой для анализа

эффективности предложенной системы управления муниципальными твердыми отходами.

Связанные результаты представлены в статье, ниже будет приведен лучший оптимизированный маршрут и поведение модели с тремя транспортными средствами. В табл. 2 используются три транспортных средства, и значения Tightness1 и Tightness2 составляют 0,5528 и 1,296903

соответственно. Проведенное исследование выявило, что модель, в которой используется набор из трех транспортных средств, более эффективна, потому что она охватывает больше собранного мусора на своем маршруте. На рисунке 5, на основе лучшего выбранного алгоритма (GAPSO), показан лучший оптимизированный маршрут для каждого транспортного средства.

Таблица 2. Показатели эффективности тестовых задач для 3-х транспортных средств
Table 2. Performance indicators of test tasks for 3 vehicles

Vehicle (capacity)	Distance	Collected waste	Total distance	Total collected waste	Tightness1 (waste/ capacity)	Tightness2 (waste/ distance)
1(2500)	1420.833	1834	4146.03	5377	0.5528	1.2969
2(2500)	1403.603	1755				
3(2500)	1321.594	1788				

Источник / Source: [14]

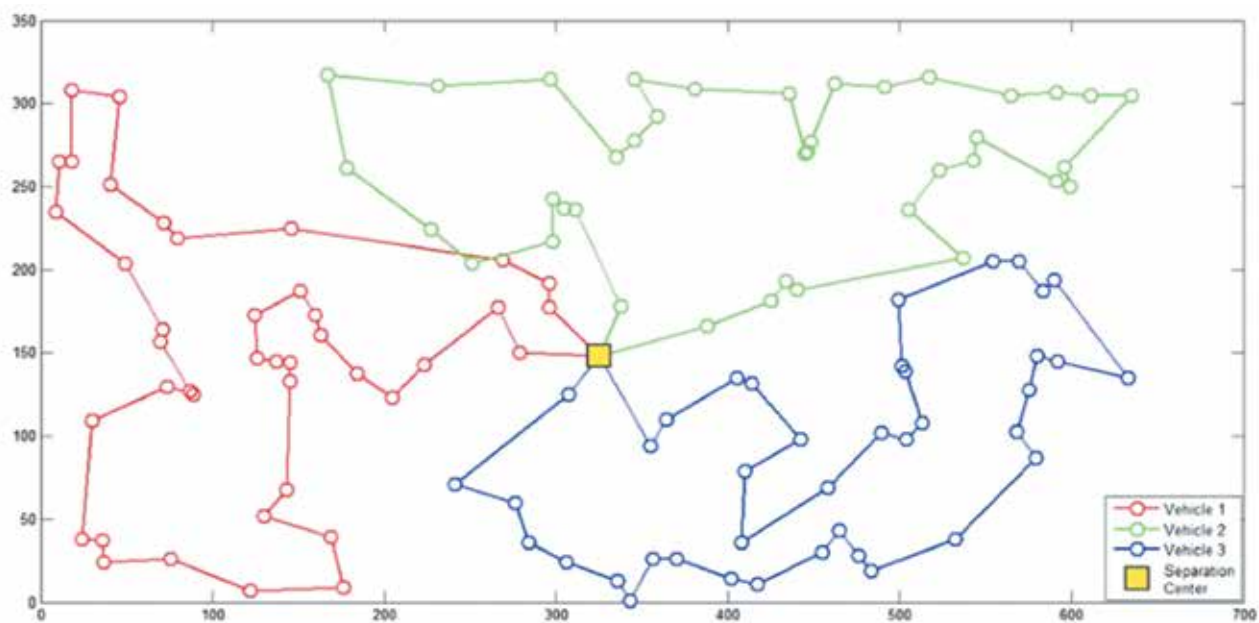


Рис. 5. Оптимизированный маршрут с тремя транспортными средствами
Fig. 5. Optimized route with three vehicles

Источник / Source: [14]

На основе информации о заполненности контейнеров система должна автоматически планировать маршруты для вывоза отходов.

Для подбора ближайшего свободного мусоровоза необходимо применить модули “несколько точек отправления — несколько точек прибытия” и учесть время отправления с прогнозом пробок⁸.

7. Фреймворк Userver

В июле 2022 года Яндекс выложил в общий доступ фреймворк Userver, предназначенный для разработки приложений с высоким трафиком. для создания высоконагруженных приложений. Данный фреймворк позволяет создавать микросервисы посредством языка C++. Userver применяется в таких приложениях, как Яндекс Go, Еда, Яндекс Лавка, Яндекс Доставка, Яндекс Маркет и др.

При создании ПО Яндекс реализовал следующие требования:

- простота — пользователь сможет уже через неделю написать и выпустить новый микросервис;
- надёжность — ошибки, в том числе и связанные с многопоточностью, можно получить на этапе компиляции, фреймворк даёт подсказки по исправлению проблем;
- полнота — есть необходимые инструменты для тестирования, работы с базами данных, системы, предназначенные для работы с форматами JSON, BSON, YAML и т.д.

В первых версиях известное приложение такси Yandex Go придерживалось монолитной архитектуры, не имеющее достаточной отказоустойчивости. Для решения таких проблем как, например,

остановка всего сервиса из-за одной ошибки сегментации, следует использовать Userver. Userver предоставляет обширные возможности для разработки, диагностики, мониторинга, трассировки, отладки и экспериментов, что делает его идеальным для обработки больших объемов запросов и создания микросервисов. Вместо создания собственной инфраструктуры (при работе с другими фреймворками), разработчики могут использовать Userver, который обладает всем необходимым функционалом, включая асинхронные драйверы для баз данных, возможность изменения конфигураций без перезапуска сервиса и инструменты для записи метрик⁹.

В сентябре 2023 г. Яндекс выпустил улучшения для фреймворка спустя год с момента выхода бета-версии. Они постарались удовлетворить запросы пользователей. Также Яндекс улучшил документацию. Ниже представлены некоторые из выпущенных новинок¹⁰:

- реализован WebSockets сервер;
- добавлен драйвер MySQL;
- реализован драйвер RabbitMQ;
- реализован TLS/HTTPS сервер;
- интегрирован DeadlinePropagation;
- переработан механизм работы с метриками;
- добавлены форматы Prometheus и Graphite;
- упрощены записи метрик и их тестирование;
- получение метрик ускорено.

⁹ Яндекс выложил в опенсорс бета фреймворка userver. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/yandex/articles/674902/>

¹⁰ Userver 1.0: Releasing a Framework for IO-Bound Programs. [Электронный ресурс]. URL: <https://medium.com/yandex/userver-1-0-releasing-a-framework-for-io-bound-programs-7898c275d226>

⁸ Примеры API матрицы расстояний [Электронный ресурс] URL: https://yandex.ru/dev/distance_matrix/doc/ru/examples

8. Оптимальная система вывоза бытовых отходов

Из изложенного выше можно сделать вывод, что те подходы и методы, которые используются в различных странах (см. п. 2) не подходят в условиях России т.к. до сих пор не существует эффективной системы для сортировки и переработки отходов.

Наиболее реальной системой для России является египетская модель «города мусорщиков». Там определенная группа граждан, называемых заббалинами, вывозит мусор из других районов в свой. Далее они сортируют его и сжигают ту часть отходов, которая не подлежит переработке. «Они сортируют до 85% поступающего к ним мусора, что является одним из лучших показателей в мире»¹¹. Такую деятельность, безусловно, должно контролировать государство.

На территории Московской области существует большое количество предприятий, перерабатывающих целлюлозу, металл, пластик. Однако некоторые из них вынуждены закупать сырье для переработки за границей, чтобы не прерывать работу.

Для утилизации пищевых отходов и текстиля рекомендуется применение компостирования. Необходимо создать полигоны, расположенные на оптимальном расстоянии от места проживания граждан.

Прочие категории (помимо токсичных) необходимо сжигать. Энергию от сжигания, на примере Японии, можно направить на работу ТЭЦ, которую следует возвести при каждом таком предприятии.

¹¹ Огурцов, А. А. Построение системы сбора и утилизации бытового мусора в Московской области. Материалы научно-практической конференции молодых ученых географов, Москва, 30–31 марта 2017 года / Научный редактор Е.А. Таможняя. — Москва: Издательство «Перо», 2017. С. 101-104. EDN WMKTPY.

Также следует перенять опыт и других стран, которые достигли больших успехов в области вывоза, переработки и утилизации отходов. Кратко описать данную модель можно по нескольким параметрам:

- раздельная сортировка текстиля и пищевых отходов от вторсырья;
- вывоз вторсырья на предприятия по сортировке;
- сортировка вторсырья;
- вывоз пищевых отходов и текстиля на отведенные для компостирования полигоны;
- утилизация прочих групп отходов посредством сжигания (за исключением токсичных отходов).

Данная система работает по типу Яндекс Go. Основными клиентами являются жители садоводческих некоммерческих товариществ и деревень; заказы выполняют подрядчики, имеющие лицензию на вывоз мусора. Предлагается технический прототип системы для вывоза мусора, который необходимо согласовать со всеми муниципальными службами. Такая система должна включать в себя следующие компоненты:

- схема установки контейнеров согласно п. 5;
- мониторинг отходов;
- планирование маршрутов;
- возможность вызова;
- база данных по всем заказам;
- оповещение служб и жителей о необходимости вывоза мусора;
- отчетность для провайдера вывоза мусора и пользователей и интеграцию с другими системами типа Битрикс24 и 1С «Бухгалтерия».

Для того, чтобы контролировать маршруты и факт доставки мусора в пункт назначения, необходимо установить на мусоровозы gps-трекеры и камеры слежения.

На рисунках 6-10 представлен процесс заказа вывоза мусора и его выполнения в нотации BPMN.

На рисунке 6 представлена часть схемы процесса, в которой описывается формирование заказа клиентом, обработка заказа системой вывоза мусора, проверка доступности мусоровозов (проверка наличия свободного мусоровоза). Если

мусоровоз недоступен, то происходит ожидание свободного мусоровоза. Если мусоровоз доступен, то определяется ближайший свободный мусоровоз (см. п. 6). Далее системой выставляется счёт клиенту, а также вырабатывается маршрут и производится отправка уведомления экипажу о заказе (см. п. 6 и п. 9 соответственно).

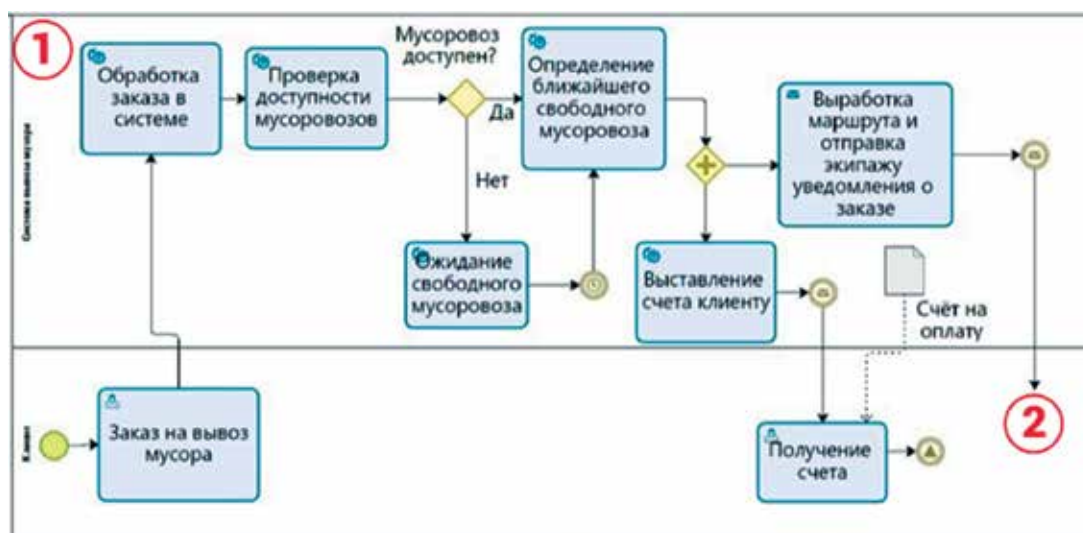


Рис. 6. Процесс заказа вывоза мусора и оплата счёта (см. продолжение на рис. 7)

Fig. 6. The process of ordering garbage collection and paying the bill (see continuation on fig.7)

На рисунке 7 представлена часть схемы процесса, в которой описывается получение экипажем мусоровоза уведомления (см. п. 9) от системы вывоза мусора, прибытие экипажа на место заказа по оптимальному маршруту (см. п. 6) и погрузка мусора. Далее экипаж отмечает в системе вывоза мусора, что погрузка осуществлена, а клиент оплачивает счёт.

На рисунке 8 представлена часть схемы процесса, в которой описывается проверка оплаты счета внутри системы для вывоза мусора. Если заказ не оплачен, то система уведомляет клиента о проблеме (см. п. 9), после чего клиент получает уведомление, выбирает удобную форму оплаты (перевод, наличные и т.д.), затем

экипаж мусоровоза подтверждает оплату и вывозит мусор в место сортировки (см. п. 6) и делает отметку в системе о сбросе мусора, после чего система отправляет заявку (см. п. 9) в службу поддержки на подтверждение сброса мусора. Если заказ оплачен, то экипаж мусоровоза вывозит мусор в место сортировки (см. п. 6) и делает отметку в системе о сбросе мусора, после чего система отправляет заявку (см. п. 9) в службу поддержки на подтверждение сброса мусора.

На рисунке 9 представлена часть схемы процесса, в которой описывается получение техподдержкой заявки на подтверждение сброса мусора, проверка факта сброса мусора посредством мониторинга видеокамеры или gps-трекера



Рис. 7. Процесс погрузки мусора и проверки оплаты (см. продолжение на рис. 8)

Fig. 7. Garbage loading and payment verification process (see continuation on fig. 8)

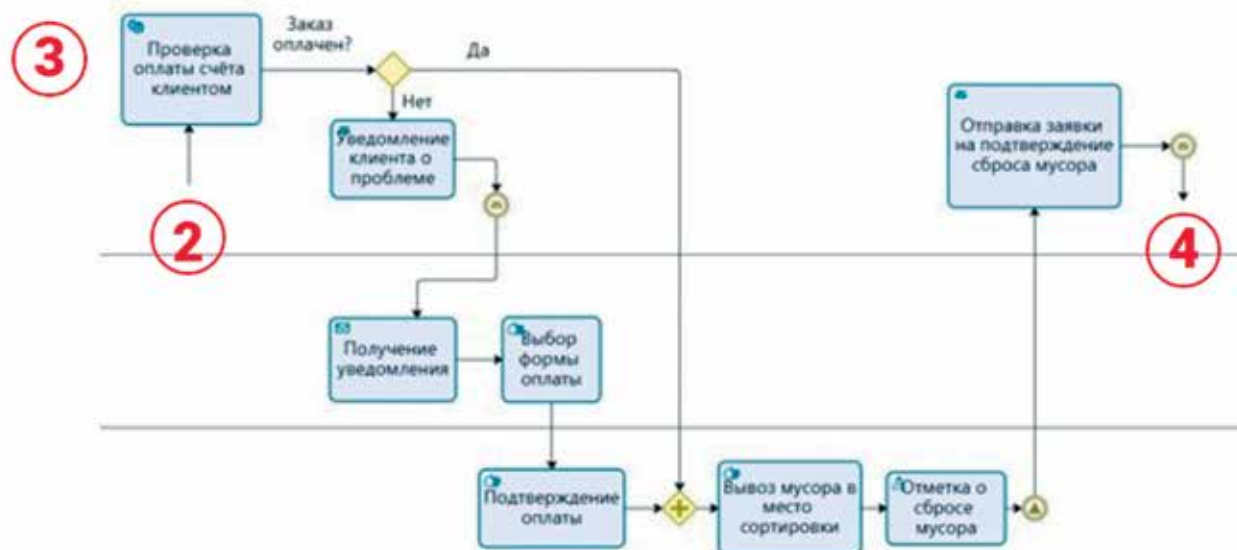


Рис. 8. Процесс урегулирование вопроса оплаты и сброса мусора в месте назначения (см. продолжение на рис. 9)

Fig. 8. The process of resolving the issue of payment and waste disposal at the destination (see continuation on fig. 9)

(см. п. 8). Если мусор сброшен не в месте сортировки, то техподдержка выписывает экипажу штраф, экипаж его оплачивает и вывозит мусор из несанкционированного места на место сортировки, после чего уведомляет техподдержку о выполнении

заказа, техподдержка получает уведомление и делает отметку в приложении о выполнении заказа. Если мусор сброшен в месте сортировки, то техподдержка делает отметку в приложении о выполнении заказа.

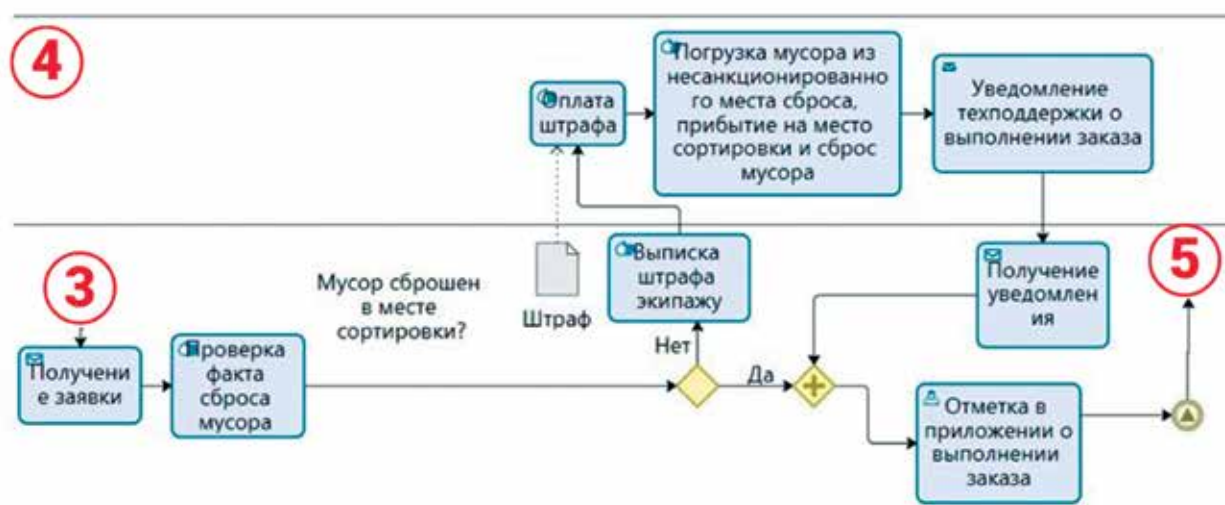


Рис. 9. Процесс проверки факта сброса мусора и отметка в приложении о выполнении заказа (см. продолжение на рис. 10)

Fig. 9. The process of checking the fact of garbage dumping and marking the order in the application (see continuation on fig. 10)



Рис. 10. Процесс занесение информации о заказе в базу данных

Fig. 10. The process of entering order information into the database

На рисунке 10 представлена часть схемы процесса, в которой описывается занесение системой информации о заказе в базу данных.

9. Оповещение

Процессы вывоза мусора должны контролироваться, для чего в системе должна существовать функция оповещения для провайдера вывоза мусора и для клиентов,

например, через мобильное приложение. Для проектирования взаимодействия систем будет использоваться архитектурный стиль REST, описывающий ограничения для проектирования слабо связанных приложений, использующих протокол HTTP (HTTPS) для передачи данных.

REST использует для проектирования систем все те ограничения и соглашения, которые свойственны сети Интернет.

Приложения будут через REST API отправлять друг другу сообщения (HTTP-запросы и ответы) в форматах XML, JSON или в виде простого текста.

10. Отчетность

Система должна иметь возможность генерировать отчеты о количестве собранных отходов, времени вывоза и других параметрах. Система должна быть интегрирована с другими системами, например, с системой управления транспортом. Однако, необходимо учитывать множество факторов, таких как технические возможности, финансовые затраты, законодательство и социальные аспекты. Кроме того, необходимо обеспечить эффективную работу системы и ее постоянное совершенствование. В качестве примера можно рассмотреть отчетность, которая выгружается на сайт Росприроднадзора¹².

Заключение

В статье обоснована необходимость решения проблемы утилизации отходов в современных условиях, проанализированы подходы к сбору, сортировке и переработке мусора в разных странах, приведен обзор литературы.

Описана оптимальная система для России, включающую в себя рекомендуемую схему установки контейнеров, мониторинг отходов, планирование маршрутов, оповещение служб и жителей о необходимости вывоза мусора, отчетность для провайдера вывоза мусора и пользователей и интеграцию с другими системами типа Битрикс24 и 1С «Бухгалтерия».

Такая система позволит при разумных затратах на необходимое оборудование обеспечить снижение уровня загрязнения окружающей среды и, как следствие, сокращение количества свалок.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no relevant conflict of interests.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. OECD (2020). Environment at a Glance 2020. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/4ea7d35f-en>
2. Pires, A., Martinho, M. D. G. M., & Chang, N. B. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*. 2011;92(4), 1033-1050. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.024>
3. Anagnostopoulos T., Zaslavsky A., Medvedev A. (2015). Robust waste collection exploiting cost efficiency of IoT potentiality in Smart Cities. Conference Paper April 2015. International conference on recent advances in internet of things (RIoT). <https://doi.org/10.1109/RIOT.2015.7104901>
4. Digiesi S, Facchini F, Mossa G, Mummolo G, Verriello R. A cyber-based dss for a low carbon integrated waste management system in a smart city. *IFAC-PapersOnLine*. 2015;48(3):2356–2361. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.440>

¹² Календарь отчетности [Электронный ресурс]. URL: <https://rpn.gov.ru/activity/reports-receiving/>

5. Folianto F, Low YS, Yeow WL (2015) Smartbin: Smart waste management system. Paper presented at the 2015 IEEE tenth international conference on intelligent sensors, sensor networks and information processing (ISSNIP).
6. Ramos TRP, de Morais CS, Barbosa-Po'voa AP (2018) The smart waste collection routing problem: Alternative operational management approaches. *Expert Syst Appl* 2018;103:146–158. <https://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2018.03.001>
7. Akbarpour N, Hajiaghaei-Keshteli M, Tavakkoli-Moghaddam R (2020) New Approaches in Meta-heuristics to Schedule Purposeful Inspections of Workshops in Manufacturing Supply Chains. *International Journal of Engineering (IJE)*, IJE TRANSACTIONS B: Applications. 2020;33(5):833–840. <https://doi.org/10.5829/ije.2020.33.05a.15>
8. Heidari R, Yazdanparast R, Jabbarzadeh A. Sustainable design of a municipal solid waste management system considering waste separators: a real-world application. *Sustainable Cities and Society* 2019;47(19):101457. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101457>
9. Ma J, Hipel KW, Hanson ML, Cai X, Liu Y. An analysis of influencing factors on municipal solid waste source-separated collection behavior in Guilin, China by using the theory of planned behavior. *Sustainable Cities and Society*. 2018;37:336–343. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.11.037>
10. Toth P, Vigo D. (2002). Models, relaxations and exact approaches for capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*. 2002;123(1-3):487-512. [https://doi.org/10.1016/S0166-218X\(01\)00351-1](https://doi.org/10.1016/S0166-218X(01)00351-1)
11. Jones M. Tim. AI Application Programming. Charles River Media, INC. 2003 ISBN 1-58450-278-9. 389 p.
12. Poli R., Langdon W.B., McPhee N.F. A Field Guide to Genetic Programming. Published via <http://lulu.com>, 2008. ISBN 978-1-4092-0073-4. 250 p.
13. Самигулина Г.А., Самигулин Т.И. Обзор современных подходов искусственного интеллекта для систем управления сложившимися объектами. *Проблемы информатики*, 2018;(3):4-20.
Samigulina G.A., Samigulin T.I. Review of modern approaches of the artificial intelligence for control systems of the complex objects. *Problems of Informatics*. 2018;(3):4-20. (In Russ.).
14. Akbarpour N., Salehi-Amiri A., Hajiaghaei-Keshteli M. et al. An innovative waste management system in a smart city under stochastic optimization using vehicle routing problem. *Soft Computing* 2021;25:6707–6727. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05669-6>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Владимирович Синицын, к.ф.-м.н., заведующий кафедрой, доцент кафедры информационных процессов и систем, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “МИПЭА - Российский технологический университет” (ПТУ МИПЭА), 119454, Москва, проспект Вернадского, 78, Россия; SPIN: 4894-4298, IstinaresearcherID (IRID): 92272144, Scopus Author ID: 57197927291, ORCID: 0000-0001-7392-1837; website: <http://alexander.sinitsyn.info>; e-mail: alexander@sinitsyn.info

Василий Глебович Ханутин, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет", (ПТУ МИРЭА), 119454, Москва, проспект Вернадского, 78, Россия; <https://orcid.org/0009-0002-2694-8169>; e-mail: vgk2001@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexander V. Sinitsyn, Ph.D. (Math.), Docent, Head of Department of Information Processes and Systems, MIREA - Russian Technological University, 78 Vernadsky Avenue, Moscow 119454, Russian Federation; Scopus Author ID: 57197927291, ORCID: 0000-0001-7392-1837; website: <http://alexander.sinitsyn.info>, e-mail: alexander@sinitsyn.info

Vasiliy G. Khanutin, MIREA - Russian Technological University, 78 Vernadsky Avenue, Moscow 119454, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0002-2694-8169>; e-mail: vgk2001@yandex.ru

Поступила в редакцию / Received 02.04.2024

