УДК 628.4:656.07:005.53:004.9 DOI: 10.31799/2077-5687-2026-3-91-98

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННАЯ КОРРЕКТИРОВКА ПРИОРИТЕТОВ ВЫВОЗА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПРИ НЕПОЛНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ

В. В. Рубинов
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассмотрена задача определения срочности вывоза твердых коммунальных отходов после нарушений графика обслуживания при неполной телеметрии. Четырехтриггерная модель использована для выделения контейнерных площадок, требующих проверки плана следующего дня. Предложено сопоставлять плановое время вывоза с прогнозируемым сроком заполнения, рассчитанным с учетом внутрисуточной интенсивности накопления, давности наблюдений и запаса на ошибки исходных данных. На этой основе выделены решения об оперативном вмешательстве, более раннем обслуживании или сохранении обычного задания. Сформирован алгоритм принятия диспетчерских решений, предусматривающий проверку достоверности сведений и доступности техники перед изменением плана.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, невывоз, контейнерная площадка, триггер, внутрисуточное накопление, приоритет обслуживания.

Для цитирования:
Рубинов, В. В. Риск-ориентированная корректировка приоритетов вывоза твердых коммунальных отходов при неполной телеметрии / В. В. Рубинов // Системный анализ и логистика. – 2026. – № 3(51). – с. 91-98. DOI: 10.31799/2077-5687-2026-3-91-98.

RISK-INFORMED ADJUSTMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE COLLECTION PRIORITIES UNDER INCOMPLETE TELEMETRY

V. V. Rubinov
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The urgency of municipal solid waste collection following service schedule disruptions under incomplete telemetry is examined. A four-trigger model is used to identify collection sites whose next-day service plans require review. The proposed approach compares planned collection times with predicted capacity exhaustion deadlines, accounting for the intraday accumulation profile, observation age and allowances for errors in the input data. This comparison distinguishes between immediate intervention, earlier service and retention of the existing assignment. A dispatch decision-making algorithm is developed that requires verification of information reliability and vehicle availability before the plan is changed.

Keywords: municipal solid waste, missed collection, waste collection site, trigger, intraday accumulation, service priority.

For citation:
Rubinov, V. V. Risk-informed adjustment of municipal solid waste collection priorities under incomplete telemetry / V. V. Rubinov // System analysis and logistics. – 2026. – № 3(51). – p. 91-98. DOI: 10.31799/2077-5687-2026-3-91-98.

Введение

Контейнерная площадка (КП) – место размещения контейнеров для накопления твердых коммунальных отходов. В расчетной модели это один адрес обслуживания. После невывоза диспетчеру нужно установить, хватит ли оставшейся вместимости до следующего планового приезда. Одинаковый факт нарушения графика может требовать разных решений: немедленной уборки, более раннего вывоза или сохранения обычного задания.

В рамках исследования рассмотрена жилая застройка и предположено усложнение: интенсивность накопления нелинейна и имеет два пика – утром и вечером. Речь идет о выносе отходов из квартир, а не о времени их образования. Если эта гипотеза соответствует территории, равномерное распределение суточного объема искажает срок заполнения.

Задача – дополнить четырехтриггерную модель проверкой плана следующего дня: определить, какие невывозы требуют повышенного приоритета и к какому часу нужно освободить вместимость. Риск здесь понимается как угроза заполнения до завершения вывоза, без оценки вероятности события. Обязательное обслуживание не отменяется из-за низкого

заполнения.

Основания метода и связь с триггерами

В работе [1] предложена замкнутая модель управления потоком твердых коммунальных отходов и рассмотрены измерительные системы для получения исходных данных. В [2] автоматизированный план связывает базы данных и информационные системы перевозчика. Для разбора невывозов эти подходы задают информационную основу: сведения о состоянии КП должны сопоставляться с заданием и подтвержденным исполнением. Сам факт такого обмена еще не определяет предельный час обслуживания.

В подпрограмме [3], реализованной в «1С: Управление автотранспортом», данные о центрах накопления, объемах и графиках связываются с характеристиками транспорта для расчета его количества и загрузки. Эта постановка относится к обеспечению перевозок ресурсами. В настоящей работе исходный план уже задан; проверяется, какие его часы необходимо изменить после сбоя.

Анализ городских моделей в [4] связывает тип застройки и функциональные зоны с условиями накопления и перевозки твердых коммунальных отходов. Это основание различать территории при подготовке данных, но не источник численного почасового профиля. Авторы в исследовании [5] моделируют контейнеры и автомобили в AnyLogic по обследованию Лысьвы, подбирая параметры транспортной системы по стоимостному критерию. Для применения такой модели нужны состав парка, объемы и размещение объектов; описанное обследование дает среднесуточное накопление, а не утренние сроки заполнения.

Mes и соавторы [6] делят контейнеры по ожидаемому сроку заполнения на обязательные к посещению, допустимые для добавления в маршрут и не включаемые в текущий день. Пороговые параметры настраиваются имитационными экспериментами; обязательные адреса вставляются в маршруты с учетом дополнительных затрат времени. Следовательно, сама идея различать срочность по сроку заполнения уже используется.

Markov и соавторы [7] включают ожидаемые затраты на переполнения и срывы маршрутов в стохастическую задачу управления запасами и маршрутизации. Алгоритм адаптивного поиска в больших окрестностях использует прогноз поступления и его ошибку, а план обновляется на скользящем горизонте. Для такой постановки требуются распределения ошибок и транспортные ограничения. Предлагаемое ниже правило обходится без вероятностной оптимизации, но не дает ее результата – плана с оценкой совокупных затрат.

В рассматриваемой модели уже разделены активация КП и приоритет, задаваемый взвешенным индексом инцидента, заполнения и давности вывоза. Здесь предложена конкретизация для разбора невывозов: вместо настройки весов для этой проверки рассчитывается предельный час и сопоставляется с планом. Четыре исходных триггера сохранены (табл. 1). Каждый дает бинарный сигнал; операция «ИЛИ» включает адрес при любом срабатывании, а совпавшие сигналы объединяются в одну запись.

Таблица 1 – Основания активации КП

Триггер	Что учитывается	Что требуется уточнить
Плановый	Срок по графику	Плановый час и обязательное окно обслуживания
Прогнозный	Ожидаемое поступление	Хватит ли вместимости до планового вывоза
Сенсорный	Измеренное заполнение	Давность показания и качество измерения
Инцидентный	Невывоз или жалоба	Актуальность события и фактическое состояние

Внутрисуточный профиль и прогноз заполнения

Полезная вместимость относится к доступным контейнерам одного потока отходов. Долю заполнения переводят в объем в кубических метрах с учетом вместимости контейнера. Объемы разных фракций и недоступных контейнеров не объединяют.

На рис. 1 задан суточный профиль интенсивности накопления: в интервалах 00–06, 06–07, 07–10, 10–17, 17–21 и 21–24 ч поступает соответственно 6, 4, 30, 21, 32 и 7 % суточного объема. Сумма равна 100 %. Внутри каждого интервала интенсивность постоянна, поэтому накопленная доля F – кусочно-линейная функция. Каждые полные сутки прибавляют к ней единицу; отсчет при переходе через полночь не обнуляется.

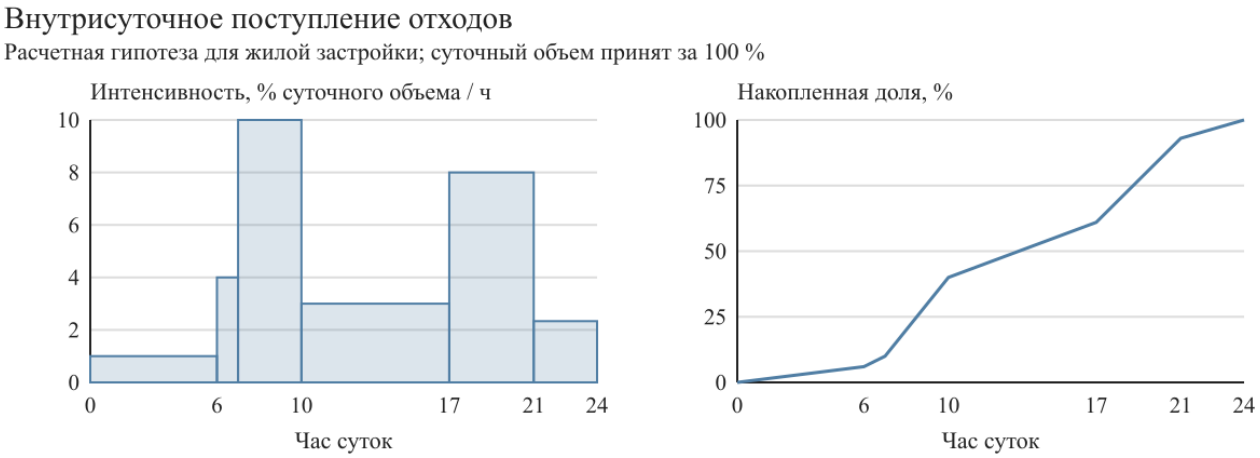


Рис. 1. Заданный внутрисуточный профиль: интенсивность поступления и накопленная доля суточного объема

Для настройки по наблюдениям суточное поступление восстанавливают как изменение объема в контейнерах плюс подтвержденный объем вывоза. Среднее по сопоставимым дням задает суточный прогноз. Почасовые поступления делят на суточный объем и усредняют доли, получая профиль. Дни с неизвестным вывозом или недостоверными измерениями исключают.

Диспетчерская система выбирает последнее непротиворечивое наблюдение с известными адресом, временем и объемом. При отсутствии датчика таким основанием служит подтвержденное опорожнение. До следующего вывоза прогноз определяется балансом:

$$\hat{V}_i(h) = V_i^0 + Q_i\left[F(h) - F(t_i)\right] \tag{1}$$

где $\hat{V}_i(h)$ – прогноз объема отходов на КП к часу h, м³; i – номер площадки; h – рассматриваемый момент времени, ч; V_i^0 – объем в момент последнего пригодного наблюдения, м³; Q_i – средний объем поступления за сутки, м³; F(h) и F(t_i) – накопленные доли суточного объема к соответствующим моментам; t_i – время исходного наблюдения, ч.

После полного опорожнения исходный объем равен нулю, после частичного – измеренному остатку. Назначение машины баланс не изменяет. Если остаток неизвестен или источники противоречат друг другу, КП передается на проверку; отсутствие данных не означает отсутствие угрозы.

К прогнозу добавляются запасы на недооценку исходного объема и суточного поступления:

$$U_i(h) = \hat{V}_i(h) + e_i + \delta_i\left[F(h) - F(t_i)\right] \tag{2}$$

где U_i(h) – верхняя расчетная оценка объема к часу h, м³; i – номер КП; h – рассматриваемый момент, ч; $\hat{V}_i$(h) – прогноз по формуле (1), м³; e_i – запас на недооценку исходного объема, м³; δ_i – запас на недооценку суточного поступления, м³; F(h) и F(t_i) – накопленные доли суточного объема; t_i – время исходного наблюдения, ч.

Запас исходного объема постоянен до обновления наблюдения; запас поступления растет с накопленной долей. Поэтому старое показание дает больший суммарный запас. Эквивалентный предупредительный порог для среднего прогноза – вместимость за вычетом этого запаса, а не отдельный постоянный процент для каждой КП.

В примере запасы не оценивались по наблюдениям: заданы 3 % вместимости для измеренного исходного объема и 20 % суточного поступления. После подтвержденного полного опорожнения первый запас равен нулю. Эти значения иллюстрируют вычисления и не предлагаются как эксплуатационные нормативы.

Предельный срок и решение о приоритете

Предельным расчетным сроком назовем первый момент, в который верхняя оценка достигает вместимости:

$$T_i = \min\{h \geq t_0 : U_i(h) \geq C_i\} \tag{3}$$

где T_i – предельный расчетный момент освобождения вместимости КП, ч; i – номер площадки; min – выбор самого раннего момента, удовлетворяющего условию; h – проверяемый момент, ч; t_0 – начало оперативного расчета, ч; U_i(h) – верхняя оценка объема по формуле (2), м³; C_i – полезная вместимость КП, м³.

Система последовательно проверяет границы интервалов профиля. В первом интервале достижения вместимости она делит свободную вместимость на начало интервала на верхнюю расчетную интенсивность и прибавляет полученное время к началу интервала. Если верхняя оценка уже достигла вместимости, требуется неотложная проверка или вывоз по подтвержденному состоянию. Если достижения нет до 24:00 следующего дня, срок отмечается как выходящий за горизонт.

Подтвержденное переполнение передается на оперативное устранение без ожидания расчетного срока. Датчик с пределом 100 % не определяет объем снаружи контейнера: его уточняют осмотром для назначения уборки и подходящей техники.

Остальные КП сохраняют обычный план, если он освобождает вместимость раньше расчетного срока и соблюдает обязательное окно обслуживания. Иначе требуется более раннее задание. Адреса для корректировки рассматриваются по возрастанию предельных сроков, при равенстве – по убыванию интенсивности поступления в соответствующем интервале. Это правило рассмотрения заявок, а не доказательство минимального объема переполнения при ограниченном парке.

Пример проверки плана следующего дня

Условие примера: на следующий день запланированы 100 КП, по 20 из них вчера зарегистрирован невывоз; на H01, H02 и H14 поступили жалобы. Расчет выполнен только для этой группы. Остальные 80 составляют фон исходного плана; их состояния и транспортная выполнимость не моделируются. Все исходные значения условные.

Расчет начинается в 06:00. На H01 и H02 осмотр подтвердил переполнение, на H14 – его отсутствие к моменту осмотра, что не опровергает ранее поданную жалобу. H13 и H19 полностью опорожнены в 06:00 предыдущего дня; последующее задание того дня не выполнено. Для остальных КП используются наблюдения между 00:00 и 06:00. Точные времена и исходные объемы сохранены в расчетных материалах.

Таблица 2 – Проверка невывозов на 06:00 (фрагмент)

КП	C_i, м³	Прогноз на 06:00, м³	За сутки, м³	План	Предельный срок	Решение
H01	6,00	6,60	4,00	12:00	уже переполнена	неотложно
H02	8,00	8,50	5,00	11:00	уже переполнена	неотложно
H03	6,00	5,72	4,00	12:00	06:31	раньше плана
H04	8,00	7,45	6,00	13:00	07:01	раньше плана
H05	6,00	5,10	5,00	12:00	07:47	раньше плана
H06	8,00	6,70	6,00	14:00	08:02	раньше плана
H07	6,00	4,50	4,00	15:00	09:21	раньше плана
H08	10,00	8,00	5,00	16:00	09:26	раньше плана
H10	8,00	5,50	5,00	16:00	10:53	раньше плана
H09	6,00	4,00	4,00	15:00	10:58	раньше плана
H12	10,00	6,50	6,00	18:00	13:28	раньше плана
H11	6,00	3,60	4,00	18:00	14:05	раньше плана
H13	6,00	2,80	2,80	14:00	19:56	по плану
H14	8,00	3,80	4,00	12:00	20:18	по плану
H15	6,00	4,00	2,00	13:00	19:28	по плану

Плановый час означает завершение обслуживания. Подтвержденные переполнения выделены первыми, десять последующих адресов упорядочены по сроку, обычные задания показаны отдельно. Сроки округлены вниз до минуты для проверки арифметики, а не как оценка точности прогноза.

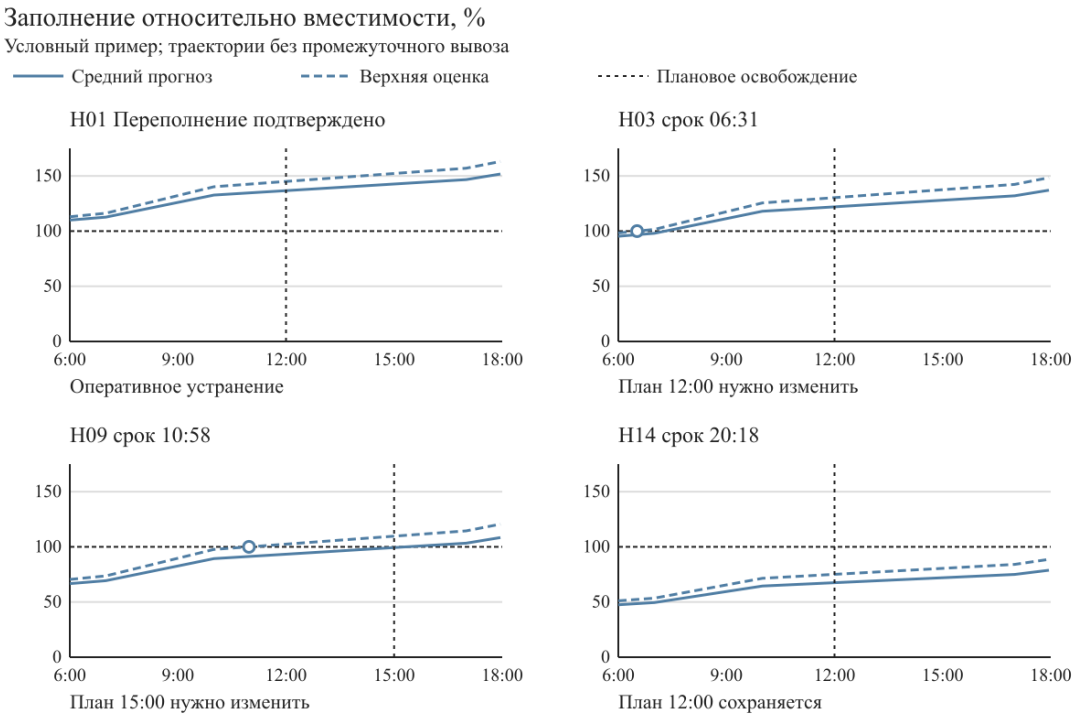


Рис. 2. Прогноз без промежуточного вывоза и сопоставление предельного срока с плановым обслуживанием

На H03 исходные 5,72 м³ и запас 0,18 м³ дают верхнюю оценку 5,90 м³ при вместимости 6 м³. В 06–07 ч поступает 4 % суточного объема. С учетом суточных 4 м³ и запаса 20 % интенсивность равна 0,192 м³/ч. Свободных 0,10 м³ хватает на 31 мин. Значит, вместо плановых 12:00 вместимость нужно освободить до 06:31, перед основным утренним пиком.

H09 проходит утренний пик, но расчетный срок 10:58 предшествует плановым 15:00. Для H14 после проверки жалобы сохраняются 12:00. H13 без датчика допускает плановые 14:00: расчет от подтвержденного опорожнения дает 19:56. На рис. 2 показано, как линия верхнего прогноза пересекает вместимость относительно планового часа; линии не изображают фактический вывоз.

Получены четыре группы: 2 подтвержденных переполнения, 6 сроков до или во время утреннего пика, 4 – после него, но раньше плана, и 8 обычных заданий. Это распределение заданных исходных состояний, не оценка частоты проблем у перевозчика.

Проверка допущений и порядок работы диспетчера

Для 18 исходно непереполненных КП проверены три контрольные траектории (табл. 3). Исходные записи наблюдений и выданные сроки не меняются; варьируются поступление, начальная ошибка и время пиков. Опозданием считается превышение выданного срока над моментом заполнения на контрольной траектории, а не опоздание реально работавшей машины.

Таблица 3 – Чувствительность расчетных сроков для 18 непереполненных КП

Контрольная траектория	Срок позже контрольного заполнения, КП	Наибольшее опоздание срока, мин
Средний объем и исходный профиль	0	0
Объем +20 % и верхняя ошибка измерения	0	0
То же и сдвиг профиля на час раньше	15	54

Во втором сценарии контрольная траектория совпадает с верхней оценкой: нулевое опоздание проверяет согласованность расчета, а не эффективность метода. Сдвиг профиля на час раньше делает 15 сроков поздними, максимум на 54 мин; восемь сохраненных плановых визитов в этом тесте все еще предшествуют заполнению. Следовательно, запас на объем не компенсирует любую ошибку времени пика.

Порядок действий приведен на рис. 3. После разбора событий система сохраняет для каждой КП наблюдение с временем, прогноз, предельный срок и решение. Новое достоверное измерение, подтвержденный вывоз или изменение задания запускает повторный расчет. Диспетчер подтверждает изменение плана только после проверки доступности техники и затронутых адресов.

Интервал опроса ограничивается временем реакции. Если до заполнения час, а движение и обслуживание требуют 40 мин, следующий опрос должен оставить эти 40 мин и время на назначение машины. Пересчет неизменного показания не повышает точность; полезно своевременное получение новых достоверных данных.

При перераспределении машины нужно повторить проверку для адресов, обслуживание которых откладывается. Без резерва выполнение одного срока может нарушить другой. Минимизация совокупных последствий потребует выбора допустимых изменений плана по объему и длительности переполнения с учетом транспортных ограничений. Такой выбор в данной модели не выполняется.

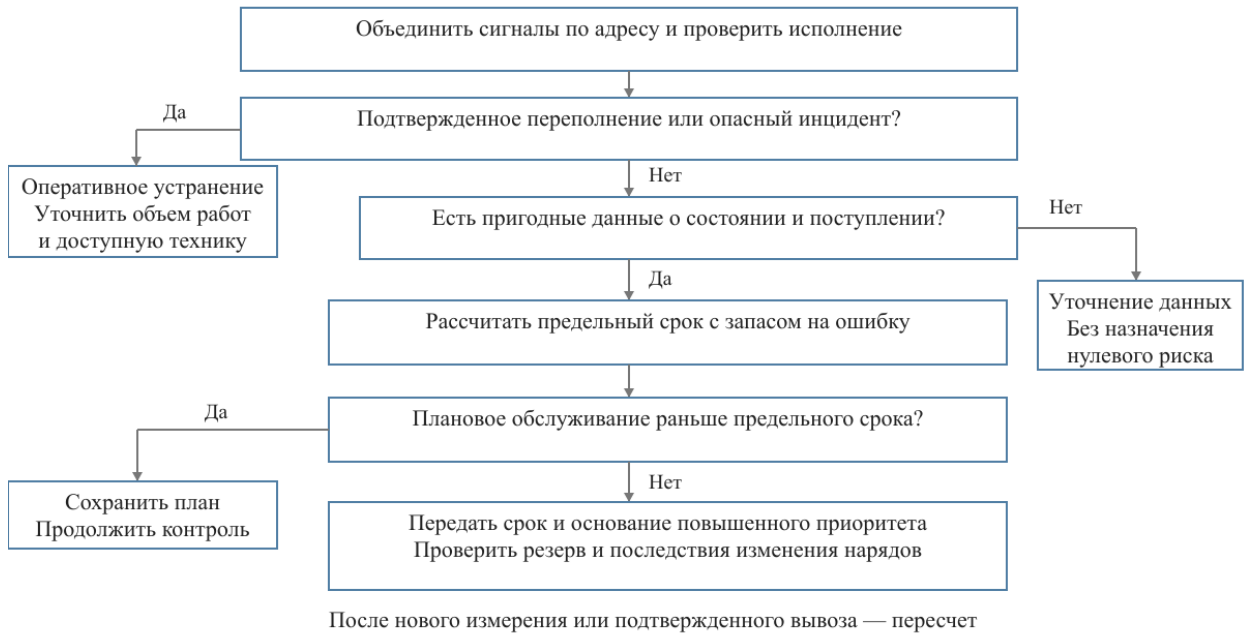


Рис. 3. Порядок проверки невывозов и корректировки приоритетов следующего дня

Заключение

Результат работы — правило перевода невывоза из признака нарушения в проверяемое требование к часу обслуживания. В условном примере 8 из 20 адресов не требуют повышенного приоритета: остаточной вместимости достаточно до обычного визита при заданном профиле и запасах. Практическая применимость этого вывода зависит от проверки почасового поступления и ошибок на данных территории; распределение техники и снижение фактических переполнений остаются непроверенными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рубинов В. В.* Датчики и аппаратные комплексы в системе автоматизации по учету и прогнозированию твердых коммунальных отходов для мегаполиса / В. В. Рубинов, Н. Н. Майоров // Датчики и системы. – 2023. – № 4-2 (270). – С. 20–29. DOI: 10.25728/datsys.2023.4.2.4.
2. *Рубинов В. В.* Построение алгоритма замкнутой системы управления грузовыми перевозками / В. В. Рубинов, В. Е. Таратун, О. В. Рощина // Датчики и системы. – 2024. – № 4 (276). – С. 37–43. DOI: 10.25728/datsys.2024.4.7.
3. *Рубинов В. В.* Исследование и разработка подпрограммы автоматизации для прогнозирования количества и заполненности грузовых транспортных средств в зависимости от стохастического формирования центров сбора опасных грузов / В. В. Рубинов, Н. Н. Майоров, В. Д. Гаскаров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2024. – Т. 16, № 4. – С. 620–634. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-620-634.
4. *Рубинов В. В.* Анализ моделей развития городских агломераций / В. В. Рубинов // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 5 (43). – С. 34–42. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-5-34-42.
5. *Апталаев М. Н.* Применимость методов имитационного моделирования при решении задачи оптимизации специализированного автомобильного парка для сбора и вывоза твердых коммунальных отходов / М. Н. Апталаев, М. Е. Жалко, Д. С. Балабанов, К. А. Калинина // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2017. Т. 4, № 4.



– 9 p. DOI: 10.15862/12RRO417.
6. *Mes M. R. K.* Inventory routing for dynamic waste collection / M. R. K. Mes, J. M. J. Schutten, A. E. Perez Rivera // Waste Management. – 2014. – Vol. 34, no. 9. – P. 1564–1576. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.05.011.
7. *Markov I.* Waste collection inventory routing with non-stationary stochastic demands / I. Markov, M. Bierlaire, J.-F. Cordeau, Y. Maknoon, S. Varone // Computers & Operations Research. – 2020. – Vol. 113. – 35 p. DOI: 10.1016/j.cor.2019.104798.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Rubinov Vladislav Valerievich
Researcher, Engineer of the Department of System Analysis and Logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: vvr1071995@mail.ru

Дата поступления: 10.09.2026
Дата принятия: 11.09.2026