

Научная статья
УДК 005.932 : 519.87

Совершенствование логистических систем предприятий методами математического и имитационного моделирования

Марина Алексеевна Платонова

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия

platonova.mar@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0463-1130>

Аннотация. В статье рассматриваются подходы к анализу и оптимизации маршрутов, выполняемых транспортными предприятиями, а также современным способам и методам их организации. Выявлено фактическое отсутствие современных научных исследований, направленных на модернизацию и оптимизацию логистических систем предприятий посредством их моделирования. Идентифицированы ключевые проблемные области в текущих системах логистического управления реальных предприятий транспортной отрасли. Разработан комплекс мероприятий по модернизации логистических систем, предложены формальные критерии оценки эффективности внедрения таких мероприятий (интегральный показатель проблемности, ожидаемая экономия от внедрения TMS-системы, ожидаемые издержки на один рейс транспортного средства), указаны граничные условия. Выполнена количественная оценка экономической эффективности внедрения предложенных мероприятий для реально действующего предприятия. Результаты исследования могут быть использованы при обосновании инвестиций в цифровые технологии мониторинга и маршрутизации.

Ключевые слова: логистическая система, модернизация, моделирование, критерии, граничные условия, предприятие, экономическая эффективность

Для цитирования: Платонова М.А. Совершенствование логистических систем предприятий методами математического и имитационного моделирования // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2026. № 2 (48).

Original article

Improving the logistics systems of enterprises using mathematical and simulation modeling methods

Marina A. Platonova

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

platonova.mar@yandex.ru

© Платонова М.А., 2026

№ 2(48)
июнь 2026

Abstract. This article examines approaches to analyzing and optimizing routes operated by transport companies, as well as modern methods and techniques for organizing them. A significant lack of modern scientific research aimed at modernizing and optimizing enterprise logistics systems through modeling has been identified. Key problem areas in the current logistics management systems of real-life transport industry enterprises were identified. A set of measures for modernizing logistics systems has been developed, formal criteria for assessing the effectiveness of such measures (an integrated problem indicator, expected savings from implementing a TMS system, and expected costs per vehicle trip) have been proposed, and boundary conditions have been specified. A quantitative assessment of the economic efficiency of implementing the proposed measures for a real-life enterprise was conducted. The results of the study can be used to justify investments in digital monitoring and routing technologies.

Keywords: logistics system, modernization, modeling, criteria, boundary conditions, enterprise, economic efficiency

For citation: Platonova M.A. Improving the logistics systems of enterprises using mathematical and simulation modeling methods. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2026. № 2 (48).

Введение

Для повышения общей эффективности и минимизации рисков коммерческой деятельности транспортных предприятий большое значение имеют анализ и оптимизация транспортных маршрутов, а также современных способов и методов их организации. По данным отечественных и зарубежных экспертов (например, [1]), в общих логистических затратах на доставку товара доля транспортных расходов составляет от 46% до 72%. В условиях жесткой конкуренции на рынке транспортных услуг компании стремятся выделиться за счет инноваций, скорости и высокого качества обслуживания. В нынешней непростой геополитической ситуации, нарушены привычные логистические связи и требуется активное импортозамещение, точное планирование, учёт и контроль транспортных затрат становятся ещё более важными. Для этого транспортная отрасль активно осваивает современные цифровые технологии, внедряя умные системы управления перевозками, а также искусственный интеллект для оптимизации маршрутов и прогнозирования, опираясь при этом

на последние достижения отечественной и мировой научной мысли в области транспортной логистики.

Анализ публикационной активности в области создания и развития логистических систем предприятий за 2020-2026 гг. по российским (eLibrary) и международным (Researchgate) базам публикаций позволил выявить соответствующие основные тренды как в российской, так и в международной научной деятельности (рисунок 1).

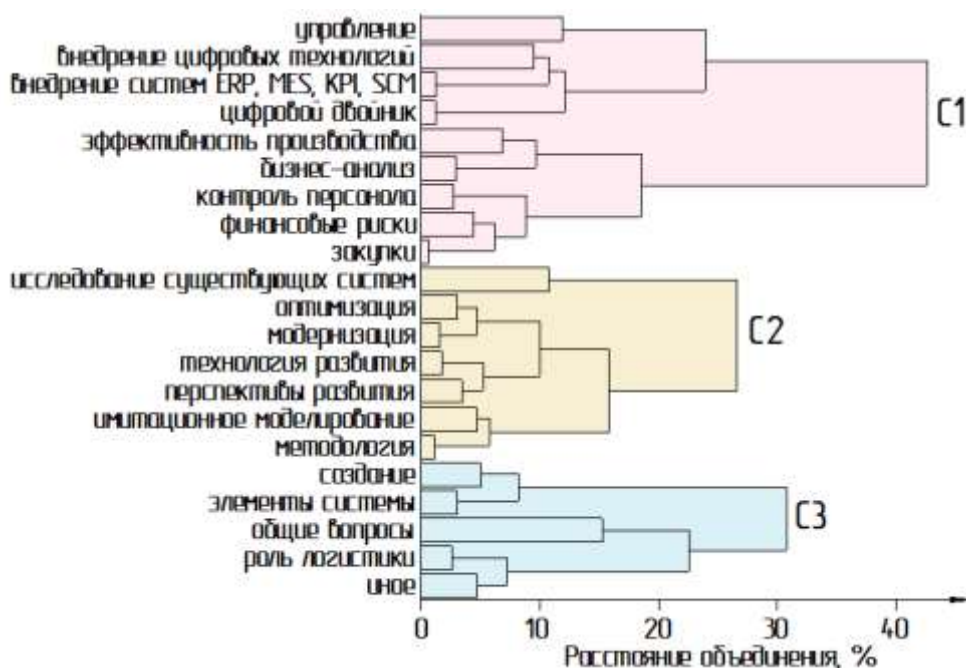


Рис. 1. Направления современных (2020-2026 гг.) научных исследований в области логистических систем предприятий

Выявлено, что наибольшее количество современных исследований в области логистических систем предприятий относится к управлению указанными системами [2] (кластер C1) с рассмотрением целесообразности внедрения различных цифровых технологий [3], в том числе искусственного интеллекта и AI-агентов [4, 5], предложений различных структурных моделей цифровых двойников логистических систем [6], а также их эффективности [7], в том числе с учетом возникающих финансовых рисков [8; 9]. Наименее развит в количественном отношении кластер C2 направлений исследований существующих логистических систем [10]. При этом весьма незаслуженно ученые «обходят» вопросы совершенствования и развития логистических

систем посредством их оптимизации (процесса повышения производительности и результативности функционирования путем выбора наиболее эффективных режимов работы, не затрагивающего основы самих систем) или модернизации (обновлении или замене отдельных элементов системы с целью приведения её в соответствие с актуальными стандартами, требованиями или технологическими достижениями) посредством моделирования. Вышесказанным определяется **актуальность** данного исследования.

Целью исследования является разработка и применение научно обоснованных мероприятий по модернизации существующей логистической системы с целью повышения экономической эффективности предприятий транспортной отрасли.

Материалы и методы

В ходе исследования изучалась существующая система планирования грузовых перевозок, принятая на реально действующем предприятии транспортной (железнодорожной) отрасли, а именно: сервисном локомотивном депо (филиале) ООО «Локотех» (г. Поворино), испытывающем потребность в периодической (10 рейсов в месяц) организации и выполнении (с привлечением автомобильного транспорта) перевозок запасных частей для локомотивов серии 2ТЭ116 на расстояние 150 км в одном направлении. Основное внимание уделялось внедренной на предприятии автоматизированной системе заказа транспорта, интегрированной с корпоративной системой 1С: ERP LTS, что являлось **объектом** исследования. **Предметом** исследования являлось аналитическое прогнозирование поведения логистической системы предприятия при ее модернизации.

При проведении исследования применялись методы: системного анализа (для выявления проблемных зон в планировании перевозок и установления влияния организационных элементов перевозочного процесса на общие расходы); финансово-экономический (для расчета себестоимости,

изучения структуры постоянных и переменных издержек, оценки доли прямых и косвенных затрат); калькуляции затрат (выявление фиксированных и переменных расходов). Для выявления наилучшего маршрута с помощью GPS/ГЛОНАСС и системы управления транспортом (TMS – Transportation Management System) применялись методы логистической оптимизации.

Результаты и обсуждение

В научной литературе и отраслевых обзорах логистическая система 1С: ERP LTS, нередко используемая предприятиями транспортной отрасли (в том числе на предприятии, рассматриваемом в исследовании), выделяется по таким параметрам, как импортозамещённость и юридическая чистота, низкая совокупная стоимость владения, гибкость настройки под отраслевые особенности, эффективность в ускорении обработки данных и т.д.

В результате комплексного исследования, включавшего анализ затрат и изучение логистических процессов для более чем 30 транспортных предприятий группы ООО «Локотех» (одной из крупнейших компаний на рынке сервиса тягового железнодорожного подвижного состава), были идентифицированы ключевые проблемные области в их текущих системах логистического управления (рисунок 2), на основе которых разработан комплекс из трех взаимодополняющих мероприятий по модернизации указанных систем:

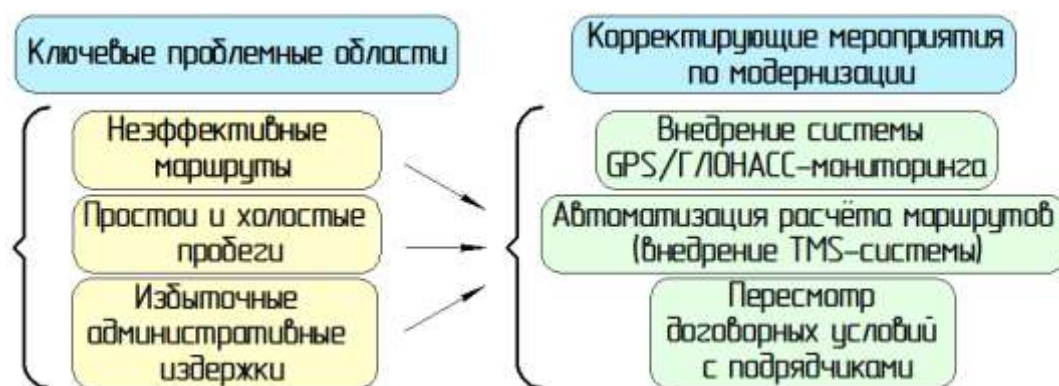


Рис. 2. Ключевые проблемные области и корректирующие мероприятия систем логистического управления предприятий

Для оценки эффективности внедрения вышеприведенных мероприятий при модернизации существующей логистической системы управления исследованных предприятий целесообразно применить метод имитационного моделирования по нескольким формальным критериям (см. формулу 1).

При формализации диагностики проблемных зон существующей логистической системы управления транспортного предприятия для каждого -го транспортного средства (при парке, состоящем из m транспортных средств) определяется коэффициент использования пробега β_j (учитывающего пробег с грузом $L_{\text{груз}}$ и общий $L_{\text{общ}}$, тыс. км), коэффициент загрузки γ_j (как отношение фактической загрузки $Q_{\text{факт}}$ к номинальной грузоподъемности $Q_{\text{ном}}$, т) и коэффициент простоев δ_j (как доля времени простоя под погрузкой/разгрузкой и оформлении документов $T_{\text{пр}}$ к общему времени рейса $T_{\text{рейс}}$, час). В качестве граничных условий применяются величины $\beta_j < 0,6$ (проблема холостых пробегов), $\gamma_j < 0,7$ (проблема недогруза) и $\delta_j > 0,25$ (проблема простоя).

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_j = L_{\text{груз}} / L_{\text{общ}} ; \gamma_j = Q_{\text{факт}} / Q_{\text{ном}} ; \delta_j = T_{\text{пр}} / T_{\text{рейс}} \\ Z_j = \omega_1(1-\beta_j) + \omega_2(1-\gamma_j) + \omega_3(1-\delta_j) \\ \beta_j \geq 0,6 ; \gamma_j \geq 0,7 ; \delta_j \leq 0,25 ; \Delta C_{\text{TMS}} = \sum_{j=1}^n (C_{\text{топл}_j} \cdot L_{\text{год}_j} \cdot \Delta\beta_j + C_{\text{аморт}_j} \cdot \Delta\gamma_j) \\ E(C) = R \cdot (1 - p_{\text{б}} \cdot \alpha + p_{\text{ин}} \cdot \beta + p_{\text{ндз}} \cdot 0,15) \end{array} \right. \quad (1)$$

Интегральный показатель Z_j проблемности конкретной зоны в существующей логистической системе управления транспортного предприятия определяется с учетом весовых коэффициентов ω_1 , ω_2 и ω_3 , величины которых устанавливаются экспертным путем, при этом чем выше показатель Z_j , тем критичнее исследуемая зона логистической системы. Кроме того, если в комплексе по исследуемому предприятию средние величины $\bar{\beta}_j < 0,55$, $\bar{\gamma}_j < 0,65$ и $\bar{\delta}_j > 0,3$, то это является обоснованием необходимости

внедрения TMS-системы и пересмотра договорных условий с подрядчиками (вышеуказанные мероприятия 2 и 3).

В качестве теоретического обоснования внедрения TMS-системы отметим, что задача маршрутизации используемых транспортных средств (Vehicle Routing Problem, VRP) связывает логистические принципы работы предприятия и комбинаторную оптимизацию. Для NP-комбинаторных задач при количестве пунктов приема груза равному n число возможных маршрутов применяемого транспортного средства возрастает до величины $n!$.

При этом внедряемая TMS-система, основанная зачастую на эвристическом алгоритме действий, подразумевающим субъективное воздействие участников перевозочного процесса, позволяет, тем не менее, найти субоптимальное решение по оптимизации транспортных затрат и рациональной организации маршрута с приемлемой вычислительной сложностью.

Ожидаемая экономия от внедрения TMS-системы может быть определена посредством выявленного снижения затрат ΔC_{TMS} (тыс. руб.) с учетом затрат $C_{топл}$ (тыс. руб.) на топливо и смазочные материалы на 1 км пробега -го транспортного средства при величине его годового пробега $L_{годj}$ (тыс. км) и величине прироста $\Delta\beta_j$ коэффициента использования пробега. Кроме того, принимаются во внимание затраты $C_{амортj}$ (тыс. руб.) на амортизацию, техническое обслуживание и ремонт транспортного средства с учетом прироста $\Delta\gamma_j$ его загрузки.

В части теоретического обоснования пересмотра договорных условий с подрядными организациями отметим, что подрядчик в условиях существования асимметрии информации обычно обладает большим объемом данных о своих прилагаемых усилиях и условиях выполнения рейса. Предлагаемая схема модернизации существующей логистической системы предприятий устраняет моральный риск, предлагая симметричное стимулирование/наказание: бонус за дисциплину (побуждающий фактор) и штрафы за недогруз (сдерживающий фактор). Кроме того, происходит снижение транзакционных издержек: вместо постоянного контроля за каждой

подрядной организацией вводятся автоматические штрафные санкции, подтвержденные объективными данными контроля через систему GPS/ГЛОНАСС-мониторинга.

В формальном виде ожидаемые издержки ($E(C)$, тыс. руб.), заказчика (предприятия) на один рейс транспортного средства при модернизируемой логистической системе управления указанного предприятия определяются с учетом вероятности p_b получения бонуса за выполненную работу без нарушений при размере бонусного коэффициента $\alpha = 0,05$; вероятности $p_{ш}$ получения штрафа за простои сверх нормы при размере штрафного коэффициента $\beta = 0,005 \cdot T_{пр н}$ (зависящего от времени $T_{пр н}$ простоя сверх нормы, час); вероятности $p_{ндг}$ загрузки транспортного средства менее 70 %.

Оценка экономической эффективности внедрения в существующую логистическую систему управления вышеуказанного рассматриваемого предприятия всех трёх мероприятий по модернизации принятой системы управления, а также прогноз снижения затрат по соответствующим статьям расходов представлены в таблице 1 и на рисунке 3.

Таблица 1

Прогноз снижения затрат после внедрения мероприятий

Статья затрат	Текущие затраты, руб./мес.	Прогноз снижения, %	Сумма экономии, руб./мес.	Новые затраты, руб./мес.	Обоснование
Топливо	24750	12	2970	21780	GPS-мониторинг + оптимизация маршрутов
Простои и холостые пробеги	8100	25	2025	6075	GPS-мониторинг + TMS
Зарплата АУП (косвенные)	120000	15	18000	102000	Автоматизация + централизация
Аренда и содержание помещений	30000	10	3000	27000	Оптимизация использования площадей
Прочие косвенные расходы	81667	20	16334	65333	TMS + пересмотр договоров
Платные дороги	5000	15	750	4250	TMS (выбор бесплатных альтернатив)
ТО и износ шин	8100	5	405	7695	Снижение пробега
Итого	304517	–	43484	261033	

Имитационным моделированием было установлено, что модернизация логистической системы управления исследованного предприятия позволит снизить ежемесячные затраты на 43484 руб. (-14,3%), уменьшить себестоимость 1 т·км с 25,38 руб. до 21,75 руб., увеличит прибыль с 45678 до 89162 руб./мес. (+95,2%). Рентабельность перевозок повышается с 13,0% до 25,5% (+12,5%), срок окупаемости капитальных вложений в размере 1034000 руб. составляет 22-24 месяца.

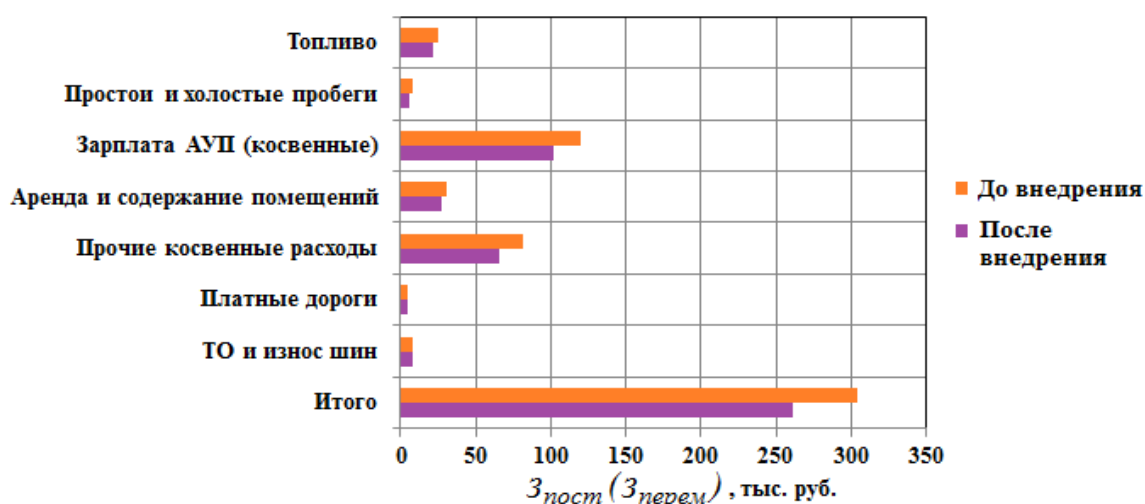


Рис. 3. Структура постоянных $Z_{пост}$ и переменных $Z_{перем}$ затрат до и после внедрения мероприятий по модернизации логистической системы управления

В части направлений будущих исследований перспективным является:

- разработка динамической модели оптимизации маршрутов с учётом реальной дорожной обстановки в режиме реального времени (на основе агрегированных данных GPS/ГЛОНАСС);
- оценка эффективности применения беспилотных грузовых автомобилей на внутрирегиональных маршрутах;
- сравнительный анализ экономической эффективности собственного парка и аутсорсинга для предприятий с распределённой структурой;
- разработка алгоритма автоматизированного распределения косвенных затрат по рейсам на основе ABC-метода (activity-based costing).

Выводы

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что в работе расширены основные положения теории управления сложными

производственными системами, развиты подходы к анализу структуры транспортных затрат применительно к предприятиям с территориально распределённой инфраструктурой и использованием аутсорсингового автотранспорта. Результаты исследований позволяют принимать научно обоснованные решения по формированию экономически эффективных комплексных технологий перевозочного процесса посредством применения методики расчета формальных критериев эффективности существующих логистических систем.

Практическая значимость исследования подтверждена количественными расчётами для реально действующего предприятия.

По результатам исследования в целом могут быть сформулированы следующие выводы:

1. Среди ведущих направлений современных научных исследований в области логистических систем предприятий недостаточно внимания уделяется вопросу модернизации существующих логистических систем посредством их математического и имитационного моделирования.

2. Установлено, что текущая система планирования на реально действующих транспортных предприятиях, несмотря на наличие автоматизированной системы заказа транспорта (интеграция с 1С: ERP LTS), характеризуется недостаточной эффективностью.

3. Для оценки эффективности внедрения мероприятий по модернизации существующих логистических систем применены методы математического и имитационного моделирования с использованием формальных критериев и граничных условий.

4. Количественная оценка экономической эффективности внедрения предложенных мероприятий для реально действующего предприятия транспортной отрасли выявила возможность ежемесячного снижения затрат на 14,3%, уменьшения себестоимости 1 т·км до 21,75 руб., увеличения прибыли на 95,2%, что обуславливает повышение рентабельности перевозок на 12,5 % при сроке окупаемости капитальных вложений 22-24 месяца.

5. Полученные результаты исследования целесообразно применить на различных предприятиях транспортной логистики, имеющих сходную структуру затрат (высокая доля косвенных издержек, аутсорсинговый парк, внутрирегиональные перевозки). Разработанная методика может быть использована при обосновании инвестиций в цифровые технологии мониторинга и маршрутизации.

Список источников

1. Enabling Horizontal Collaboration in Logistics Through Secure Multi-Party Computation / G. Spini, S. Krenn, E. Teppan [et al.] // *Future Internet*. – 2025. – Vol. 17, No. 8. – P. 364. – DOI 10.3390/fi17080364. – EDN ZVZFG.
2. Богданова, Е. С. Реализация принципов инфокоммуникационных технологий при анализе интегрированных логистических систем предприятий / Е. С. Богданова, Д. Г. Неволин // *Вестник транспорта Поволжья*. – 2022. – № 5(95). – С. 66-71. – EDN IOGKCF.
3. Акимов, А. А. Практические аспекты разработки интеграционной платформы агрегации данных производственно-логистической системы машиностроительных предприятий / А. А. Акимов, С. Н. Григорьев // *Вестник МГТУ «Станкин»*. – 2025. – № 1(72). – С. 102-108. – EDN SWRHEX.
4. Томилов, М. В. Применение искусственного интеллекта в реализации финансовой стратегии предприятий транспортной логистики / М. В. Томилов // *Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право*. – 2025. – Т. 35, № 5. – С. 867-874. – DOI 10.35634/2412-9593-2025-35-5-867-874. – EDN GGVTSB.
5. Artificial Intelligence in Logistics Optimization with Sustainable Criteria: A Review / W. Chen, Ya. Men, N. Fuster [et al.] // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16, No. 21. – P. 9145. – DOI 10.3390/su16219145. – EDN LBUGGB.
6. Разработка структурной модели цифрового двойника производственно-логистической системы машиностроительных предприятий / С. Н. Григорьев, В. А. Долгов, П. А. Никищечкин, Н. В. Долгов // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение*. – 2021. – № 2(137). – С. 43-58. – DOI 10.18698/0236-3941-2021-2-43-58. – EDN TRCNAW.
7. Evaluation of the efficiency of the delivery process in the technical object of transport infrastructure with the application of a simulation model / A. Zabielska, M. Jacyna, M. Lasota, K. Nehring // *Eksploracja i Niezawodnosc*. – 2023. – № 25(1). – DOI 10.17531/ein.2023.1.1. – EDN FXMTRP.
8. Гамидова, А. М. Пути эффективной организации логистики снабжения на предприятии / А. М. Гамидова // *Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика*. – 2024. – № 2(48). – С. 19-25. – DOI 10.17122/2541-8904-2024-2-48-19-25. – EDN WZXBFJ.
9. Construction of the Optimization Model of Cargo Transport Network / Ya. Kong, B. Tian, Q. Wang [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 261. – P. 03013. – DOI 10.1051/e3sconf/202126103013. – EDN BVHKVZ.

10. Гусев, С. А. Оптимизация существующей технологии перевозок грузов с нефтеперерабатывающих предприятий и структуры взаимодействия участников логистической системы / С. А. Гусев, А. С. Терентьев // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-5(78). – С. 88-97. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-88-97. – EDN ONZFFE.

References

1. Spini G., Krenn S. Enabling Horizontal Collaboration in Logistics Through Secure Multi-Party Computation, *Future Internet*, 2025, no. 17(8), p. 364, doi 10.3390/fi17080364.
2. Bogdanova E.S., Nevolin D.G. *Vestnik transporta Povolzh'ya*, 2022, no. 5(95), pp. 66-71.
3. Akimov A.A., Grigoriev S.N. *Vestnik MGTU «Stankin»*, 2025, no. 1(72), pp. 102-108.
4. Tomilov M.V. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Ekonomika i pravo*, 2025, vol. 35, no. 5, pp. 867-874, doi 10.35634/2412-9593-2025-35-5-867-874.
5. Chen W., Men Y., Fuster N., Osorio C., Juan A. Artificial Intelligence in Logistics Optimization with Sustainable Criteria: A Review, *Sustainability*, 2024, no. 16(21), p. 9145, doi 10.3390/su16219145.
6. Grigoriev S.N., Dolgov V.A., Nikishechkin P.A., Dolgov N.V. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Mashinostroyeniye*, 2021, no. 2(137), pp. 43-58, doi 10.18698/0236-3941-2021-2-43-58.
7. Zabielska A., Jacyna M., Lasota M., Nehring K. Evaluation of the efficiency of the delivery process in the technical object of transport infrastructure with the application of a simulation model, *Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability*, 2023, no. 25(1), doi 10.17531/ein.2023.1.1.
8. Gamidova A.M. *Vestnik UGNTU. Nauka, obrazovaniye, ekonomika. Seriya: Ekonomika*, 2024, no. 2(48), pp. 19-25, doi 10.17122/2541-8904-2024-2-48-19-25.
9. Kong Y., Tian B., Wang Q., Liu D., Gao Y., Li C., Zhang Y. Construction of the Optimization Model of Cargo Transport Network, *E3S Web of Conferences*, 2021, no. 261, p. 03013, doi 10.1051/e3sconf/202126103013.
10. Gusev S.A., Terentyev A.S. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2022, no. 3-5(78), pp. 88-97, doi 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-88-97.

Рецензент: В.И. Прядкин, д-р техн. наук, профессор, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (ВГЛТУ)

Информация об авторе

Платонова М. А. – канд. техн. наук, доцент,
Воронежский институт высоких технологий, Воронеж.

Information about the author

Platonova M. A. – Candidate of Sciences (Technical), associate professor,
Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh.

Статья поступила в редакцию 27.04.2026; одобрена после рецензирования 07.05.2026; принята к публикации 26.06.2026.

The article was submitted 27.04.2026; approved after reviewing 07.05.2026; accepted for publication 26.06.2026.