

Научные основы повышения эффективности внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортно-технологический процесс доставки грузов

Р.Р. Сафиуллин¹✉, Л.А. Симонова²

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Казанской федеральный университет, г. Набережные Челны, Российская Федерация

✉ safiullin@yandex.ru

Резюме: Исследование направлено на разработку методов оценки и оптимизации эффективности перевозочного процесса в рамках интеграции в единую интеллектуальную транспортную систему страны. Цель интеграции интеллектуальных транспортных систем заключается в объединении всех участников транспортного процесса в единую, высокоорганизованную сеть. Без такого взаимодействия невозможно эффективно управлять логистическими процессами, так как каждый элемент цепочки играет свою уникальную роль и требует постоянной связи с другими участниками. При согласованном взаимодействии всех звеньев цепи возникает возможность сокращения временных и финансовых издержек, повышения качества и более точного выполнения транспортной работы. В исследовании: 1 – сформированы научные основы повышения эффективности внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортно-технологический процесс доставки грузов, в основе которых лежит зависимость производительности автомобильного транспорта от параметров автомобильных дорог; 2 – разработаны алгоритм интегральной оценки эффективности перевозочного процесса и комплексная модель формирования интегрального критерия оценки эффективности перевозочного процесса, учитывающая эксплуатационные параметры автомобильных дорог; 3 – доказана гипотеза о приоритетном влиянии параметров транспортной инфраструктуры на производительность автомобильного транспорта; 4 – сформирована модель физической архитектуры интеллектуальной системы организации перевозочного процесса; 5 – разработана программа, позволяющая построить маршрут движения грузового транспорта на основе заданных весовых параметров груза и функции оптимизации.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, транспортная инфраструктура, эффективность перевозок, автоматизация, технико-эксплуатационные показатели, алгоритмы оптимизации

Для цитирования: Сафиуллин Р.Р., Симонова Л.А. Научные основы повышения эффективности внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортно-технологический процесс доставки грузов. *Горная промышленность*. 2025;(1S):55–61. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-55-61>

Scientific foundations for enhancing the efficiency of implementing integrated intelligent technologies in the transport and logistics process of freight delivery

R.R. Safiullin¹✉, L.A. Simonova²

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russian Federation

✉ safiullin@yandex.ru

Abstract: The research is aimed at developing methods to assess and optimize the efficiency of the transportation process as part of integration into a unified intelligent transport system of the country. The purpose of integrating into the intelligent transport systems is to unite all the participants of the transport process into a single, highly organized network. Efficient management of logistics processes is impossible without such interaction, as each element of the chain plays its own unique role and requires constant communication with the other participants. With the coordinated interaction of all the links in the chain, there arises the possibility to reduce time and financial costs, improve the quality and perform transport work more accurately. The study (1)

forms the scientific basis to improve the efficiency of implementing integrated intelligent technologies in the transportation and technological process of cargo delivery, which is based on the dependence of the road transport performance on the parameters of highways; (2) offers a developed algorithm for an integrated assessment of the transportation process efficiency and a complex model to form an integral criterion for assessing the efficiency of the transportation process with due account of the operating parameters of highways; (3) a hypothesis regarding the priority influence of the transport infrastructure parameters on the performance of road transport has been proved; (4) a model of the physical architecture of the intelligent system for organizing the transportation process has been created; (5) a programme has been developed that allows to design a route for freight transport based on the given weight parameters of the cargo and the optimization function.

Keywords: intelligent transport systems, transport infrastructure, transportation efficiency, automation, technical and operational indicators, optimization algorithms

For citation: Safiullin R.R., Simonova L.A. Scientific foundations for enhancing the efficiency of implementing integrated intelligent technologies in the transport and logistics process of freight delivery. *Russian Mining Industry*. 2025;(1S):55–61. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-55-61>

Введение

Принципиальное и резкое изменение геополитической и геоэкономической ситуации в 2022 г. качественно трансформировало характер среды, в которой функционирует транспортный комплекс, и потребовало его масштабной структурной перестройки.

В концепции развития транспортной системы Российской Федерации¹ одним из основных направлений предусмотрено внедрение и развитие интеллектуальных технологий и общей цифровизации транспортной системы. В отношении перевозок автомобильным транспортом внедрение цифровых технологий осуществляется посредством развития интеллектуальных транспортных систем и высокоавтоматизированных транспортных средств. При этом в данной области исследования можно отметить отсутствие концептуального подхода к внедрению интеллектуальных транспортных систем, учитывающего параметры транспортной инфраструктуры в вопросах повышения эффективности перевозочного процесса.

На основании изложенного целью исследований является разработка концепции и комплекса методов, направленных на создание единой интегрированной интеллектуальной системы управления транспортно-технологическими процессами доставки грузов.

В основе исследования лежит изучение взаимосвязи параметров, характеризующих транспортный процесс, и их влияние на эффективность доставки грузов. Новым является использование параметров транспортной инфраструктуры в вопросах повышения эффективности транспортного процесса, изучение и раскрытие взаимосвязи эффективности перевозочного процесса от эксплуатационных характеристик автомобильной дороги [1].

Результаты и обсуждение

Разработанный метод комплексной оценки эффективности процесса перевозок грузов с применением интеллектуальных технологий основан на критериальной оценке каждого этапа, из которых состоит технологический перевозочный процесс, с использованием математического аппарата [2; 3]. Сформирован алгоритм (рис. 1), включающий

раздельный анализ технико-эксплуатационных и экономических показателей эффективности, а также взаимное сопоставление и анализ результатов.

На первом этапе исследования сформирован интегральный критерий оценки эффективности перевозок грузов автомобильным транспортом, основанный на применении средневзвешенного показателя:

$$N = T_x \mathcal{E}_y \iint_D K_n dx dy = \varphi_0 \iint_D K_n dx dy, \quad (1)$$

где T_x – технические критерии эффективности; K_n – единичные показатели эффективности, получаемые в результате оценки транспортного процесса с использованием интеллектуальных технологий; \mathcal{E}_y – экономические критерии эффективности; D – область значений показателей оценки эффективности данного вида, регламентируемая стандартами; φ_0 – определенная область значений показателей оценки эффективности данного вида, регламентируемая стандартами [4; 5].

Определена оптимизационная задача, позволяющая оценить эффективность транспортного процесса с использованием интеллектуальной технологии с учетом экономических, технико-экономических, технико-эксплуатационных, качественных и технико-организационных критериев:

$$N = f(K_{11}, K_{12}, K_{13}, \dots, K_{mn}, T_x \mathcal{E}_y). \quad (2)$$

Модель формирования интегрального критерия оценки эффективности перевозочного процесса представлена на рис. 2. В ее основе заложены две системы критериев: технико-эксплуатационные и экономические, их оптимизация осуществляется посредством параметров, составляющих зависимости данных критериев [6; 7].

В качестве показателя, характеризующего работу автомобильного транспорта, принята производительность автомобильного транспорта [8; 9]. Определена зависимость производительности от эксплуатационных показателей в общем виде, а также проведено количественное сравнение влияния каждого показателя на производительность с помощью выражения коэффициента μ^w .

$$\mu_q^w = \frac{W_{p2} / W_{p1}}{q_2 / q_1}, \quad (3)$$

где W_{p1} и W_{p2} – производительность автомобильного транспорта при показателе q_1, q_2 соответственно.

¹ Указ Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»; Указ Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации»; Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года; Концепция создания и функционирования национальной сети интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах общего пользования.

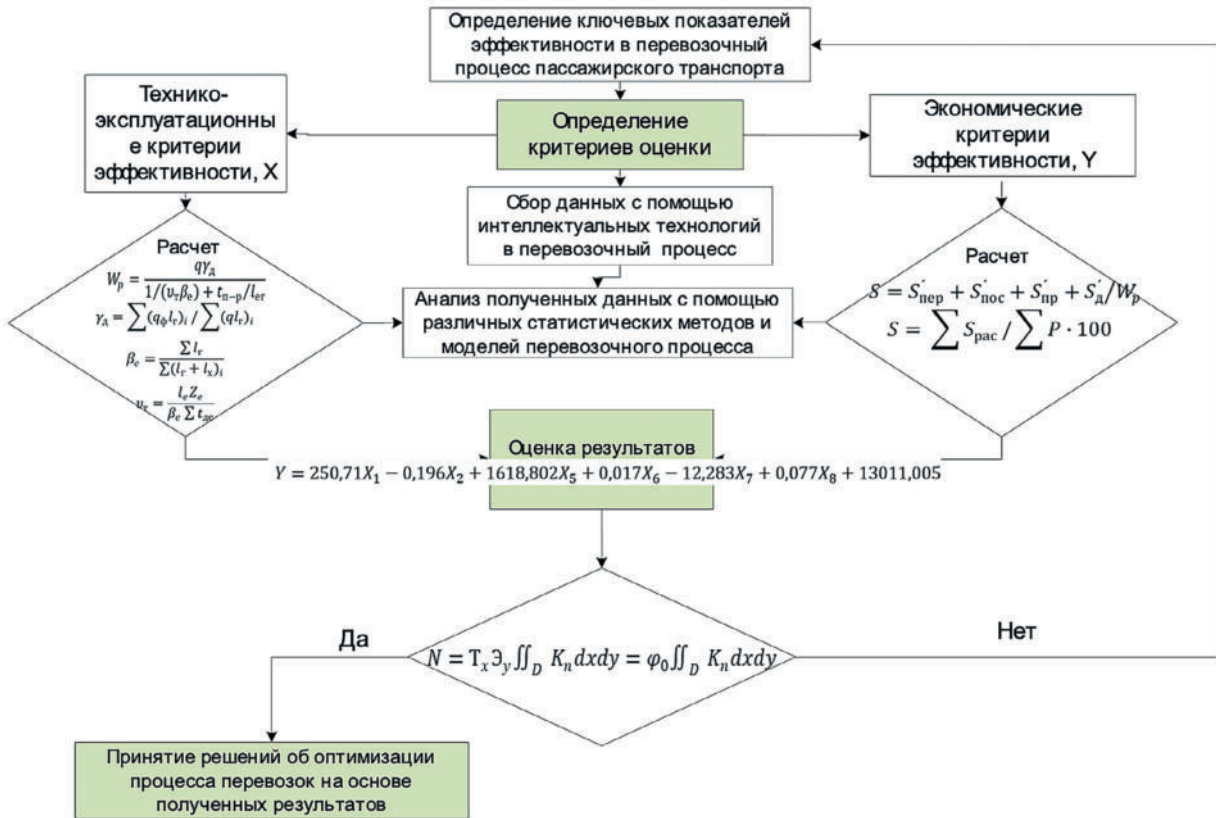


Рис. 1
 Алгоритм интегральной оценки эффективности перевозочного процесса N

Fig. 1
 An algorithm for integrated assessment of the efficiency of the transportation process N

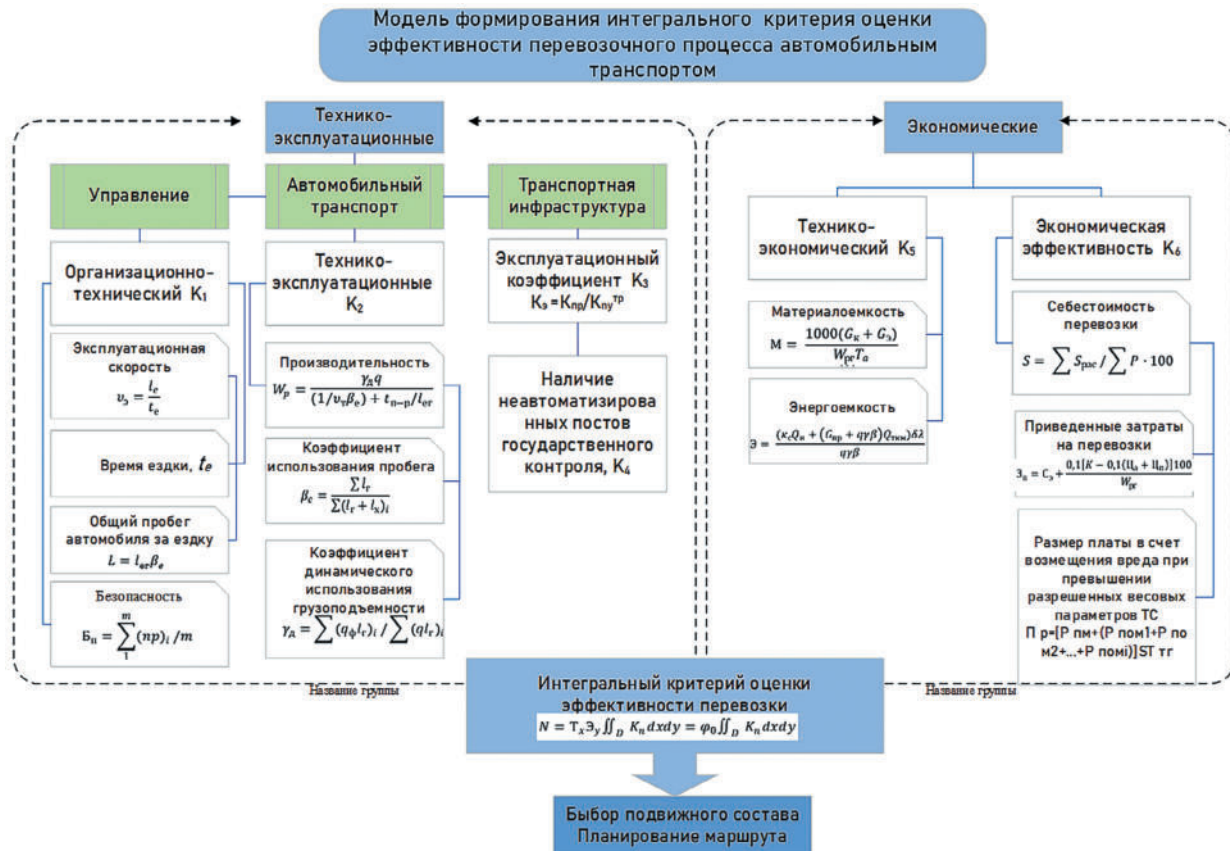


Рис. 2
 Модель формирования интегрального критерия оценки эффективности перевозочного процессом

Fig. 2
 A model of shaping the integral criterion to assess the transportation process efficiency

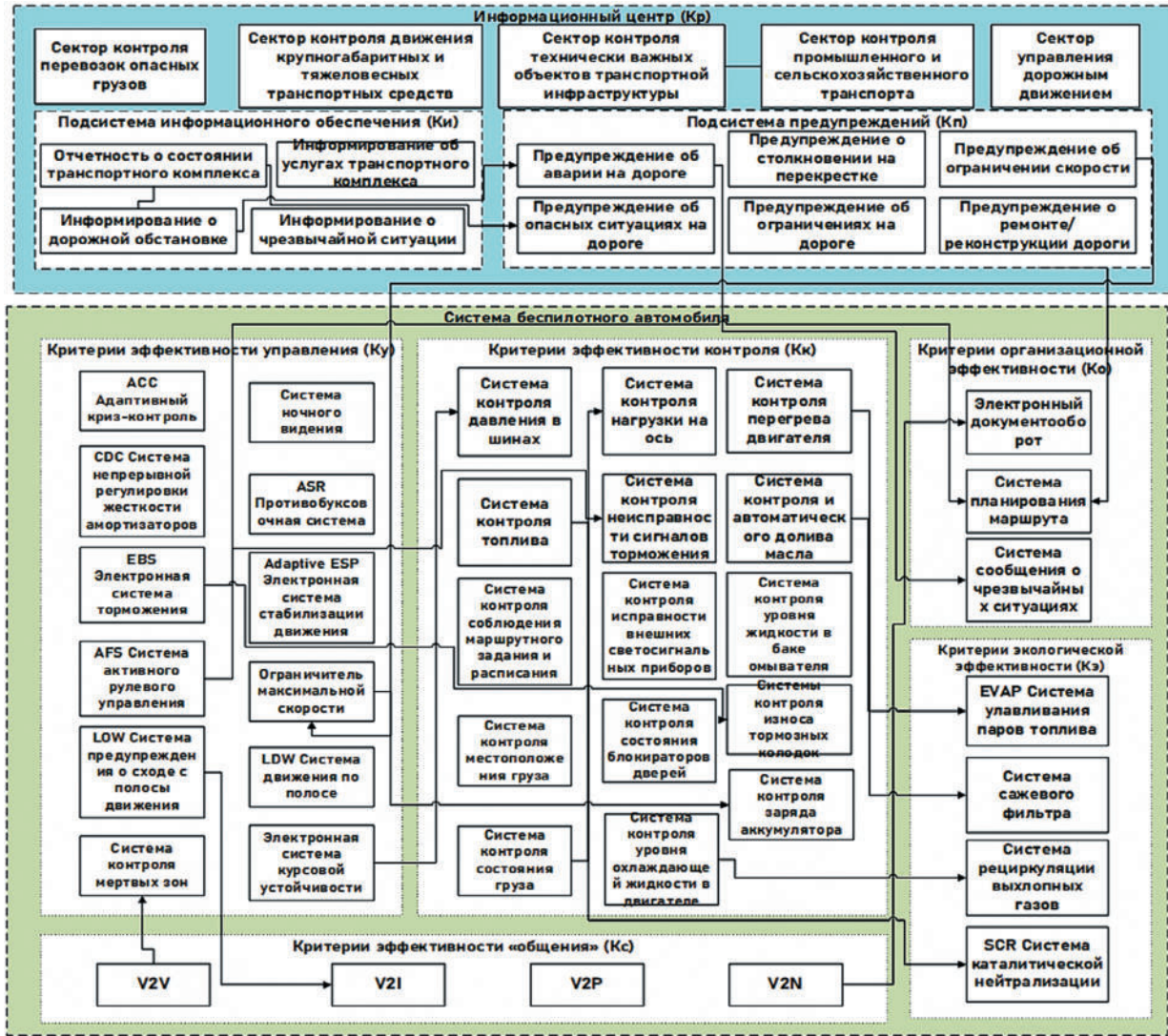


Рис. 3
Модель физической архитектуры интеллектуальной системы организации перевозочного процесса

Fig. 3
A model of the physical architecture of the intelligent system for organizing the transportation process

В целях определения зависимостей от технико-эксплуатационных показателей формула производительности приведена к следующему виду:

$$W_p = \frac{q\gamma_d}{1/(v_t\beta_e) + t_{np}/l_{er}}, \quad (4)$$

где γ_d – коэффициент динамического использования грузоподъемности; β_e – коэффициент использования пробега за несколько ездов; v_t – техническая скорость, км/ч; P – выполненная транспортная работа, т·км; q – грузоподъемность транспортного средства, т; l_{er} – средняя длина ездки с грузом, км; t_e – время ездки, ч; t_{np} – время простоя, ч.

Методом регрессионного анализа получена линейная зависимость эффективности перевозочного процесса от рассматриваемых факторов:

$$Y = 250,71X_1 - 0,196X_2 + 1618,802X_5 + 0,017X_6 - 12,283X_7 + 0,077X_8 + 13011,005. \quad (5)$$

Представленная зависимость показала, что наибольшее влияние оказывают эксплуатационный коэффициент автомобильной дороги и техническая скорость транспорт-

ного средства. Следовательно, можно сделать вывод о значимости параметров транспортной инфраструктуры при планировании перевозочного процесса, что подтверждает гипотезу, приведенную в [10–12].

Следующим этапом исследования после определения ключевых критериев эффективности перевозочного процесса является его автоматизация. На данном этапе завершается подготовительная часть развития системы, связанная с завершением модернизации транспортной инфраструктуры, и осуществляется переход к основной функции – интеллектуальному управлению отдельными транспортными средствами и транспортными потоками [13–15]. На рис. 3 представлена разработанная модель физической архитектуры интеллектуальной системы организации перевозочного процесса, призванная анализировать и обеспечить безопасную эксплуатацию высокоавтоматизированных транспортных средств в рамках локальных интеллектуальных транспортных систем [16–18].

На основании проведенных исследований разработана программа автоматического моделирования оптимального маршрута движения грузового транспортного средства по заданным параметрам эффективности: производительность автомобильного транспорта, наименьшая себесто-

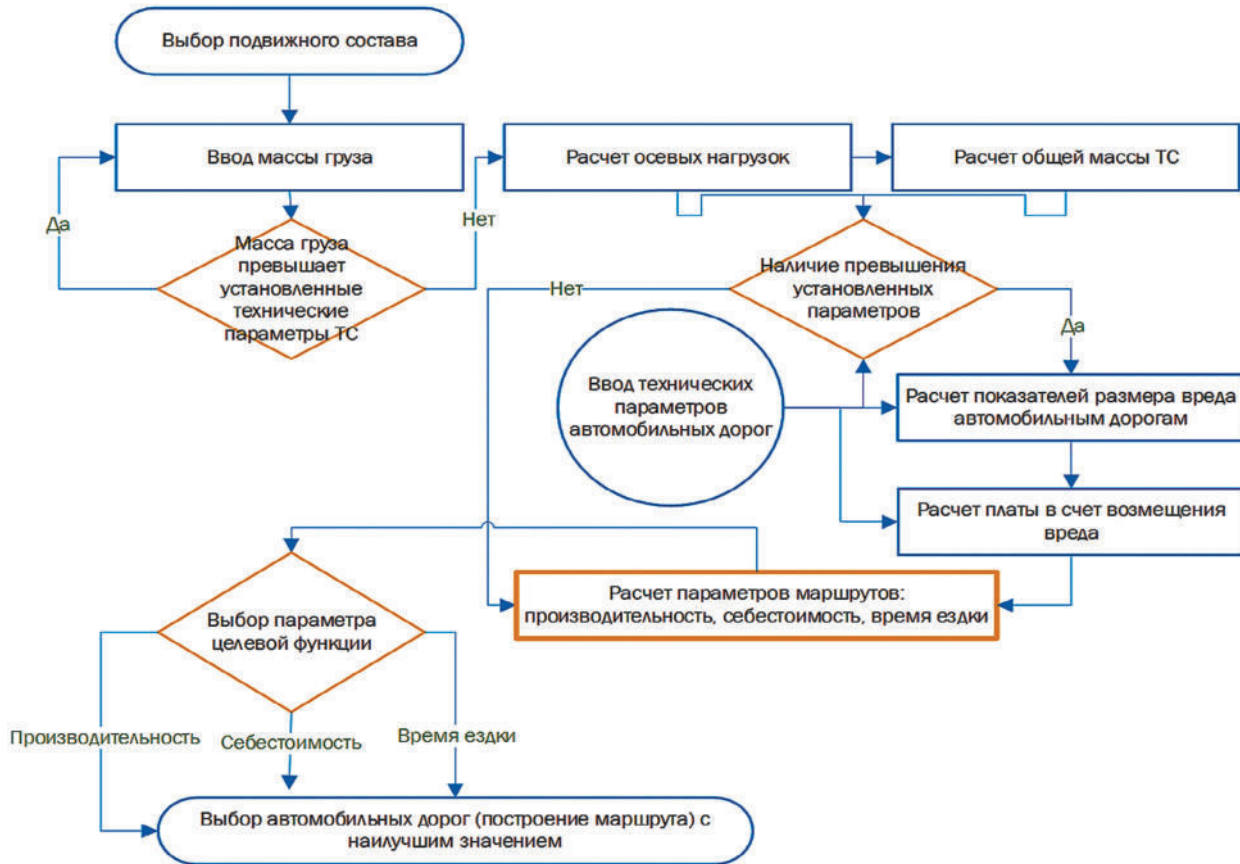


Рис. 4
 Алгоритм выбора оптимального маршрута движения грузового ТС по заданным параметрам

Fig. 4
 An algorithm to select the optimal route of a cargo vehicle based on the given parameters

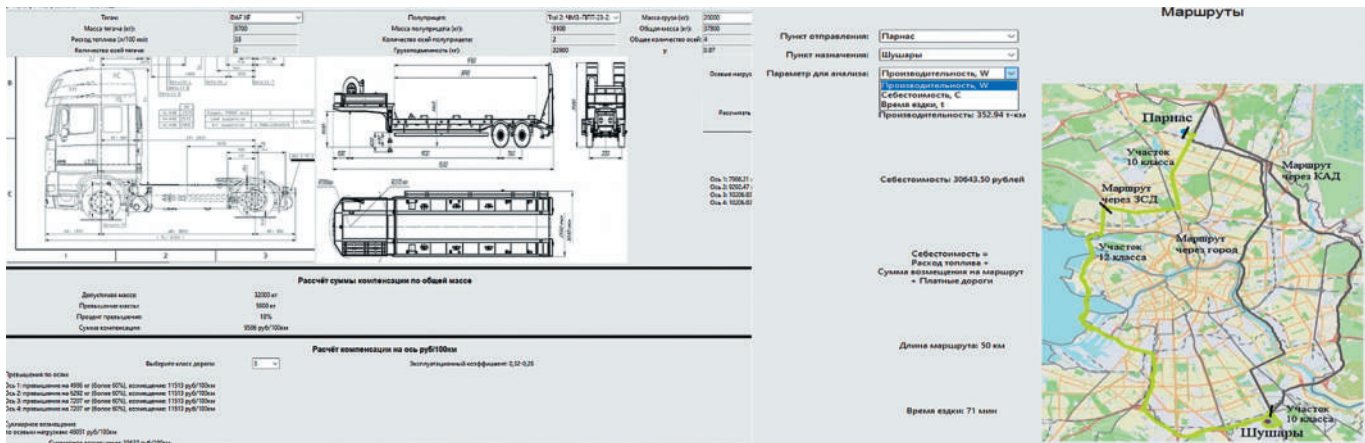


Рис. 5
 Пример выбора оптимального маршрута движения грузового ТС по заданным параметрам (производительность)

Fig. 5
 An example of selecting the optimal route of cargo vehicle based on the given parameters (productivity)

имость ездки, наименьшее время ездки [19; 20]. Алгоритм работы и пример функционирования программы представлены на рис. 4, 5.

Закключение

Цель интеграции интеллектуальных транспортных систем заключается в объединении всех участников транспортного процесса в единую, высокоорганизованную сеть. Без такого взаимодействия невозможно эффективно управлять логистическими процессами, так как каждый

элемент цепочки играет свою уникальную роль и требует постоянной связи с другими участниками. Когда все звенья цепи действуют в согласии, возникает возможность сокращения временных и финансовых издержек, повышения качества и более точного выполнения транспортной работы.

Учитывая изложенное, сформированы научные основы повышения эффективности внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортно-технологический процесс доставки грузов, в основе которых ле-

жит зависимость производительности автомобильного транспорта от параметров автомобильных дорог.

Разработаны алгоритм интегральной оценки эффективности перевозочного процесса и комплексная модель формирования интегрального критерия оценки эффективности перевозочного процесса, учитывающая эксплуатационные параметры автомобильных дорог, доказана гипотеза о приоритетном влиянии параметров транспортной инфраструктуры на производительность автомобильного транспорта.

На основе проведенных исследований параметров эффективности перевозочного процесса, учитывающих зависимость производительности транспортных средств от параметров транспортной инфраструктуры, сформирована модель физической архитектуры интеллектуальной системы организации перевозочного процесса, разработана программа, позволяющая построить маршрут движения грузового транспорта на основе заданных весовых параметров груза и функции оптимизации.

Список литературы / References

1. Бегишев И.Р. Правовое регулирование беспилотных транспортных средств. *Транспортное право*. 2021;(3):7–10. Begishev I.R. The legal regulation of unmanned means of transport. *Transportnoe Pravo*. 2021;(3):7–10. (In Russ.)
2. Glistau E., Coello Machado N. Smart logistics in the context of Industry 4.0: Research prospects and future perspectives. *Procedia Computer Science*. 2021;181:609–616.
3. Caris A., Macharis C., Janssens G.K. Decision support in intermodal transport: A new research agenda. *Computers in Industry*. 2013;64(2):105–112. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2012.12.001>
4. Сафиуллин Р.Н., Сафиуллин Р.Р., Сорокин К.В. Метод оценки и прогнозирования технического состояния ресурсных элементов карьерных самосвалов на основе контрольных карт Шухарта. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(7):111–124. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_7_0_111
Safiullin R.N., Safiullin R.R., Sorokin K.V. Assessment and prediction of technical condition of dump truck life components using the Shewhart control charts. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(7):111–124. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_7_0_111
5. Safiullin R., Arias Z.P. Comprehensive assessment of the effectiveness of passenger transportation processes using intelligent technologies. *The Open Transportation Journal*. 2024;18:e26671212320514. <https://doi.org/10.2174/0126671212320514240611100437>
6. Борисов С.В., Колтунова Е.А., Кладиев С.Н. Совершенствование структуры имитационной модели тягового асинхронного электропривода рудничного электровоза. *Записки Горного института*. 2021;247:114–121. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.12>
Borisov S.V., Koltunova E.A., Kladiev S.N. Traction asynchronous electric drive of mine electric locomotivesimulation model structure improvement. *Journal of Mining Institute*. 2021;247:114–121. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.12>
7. Богданова Н.А. Обоснование направлений развития предприятия по выпуску автотранспорта с использованием прогнозных моделей (на примере ПАО «Нефаз»). В кн.: Арефьев И.Б., Волкова В.Н. (ред.) *Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике: труды 24-й междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, студентов и аспирантов, г. Санкт-Петербург, 23–25 апр. 2024 г.* СПб.: Медиапайр; 2024. С. 108–112.
8. Сержан С.Л., Скребнев В.И., Малеванный Д.В. Исследование влияния шероховатости стальных и полимерных труб на потери напора при гидротранспорте хвостовой пульпы. *Обогащение руд*. 2023;(4):41–49. <https://doi.org/10.17580/or.2023.04.08>
Serzhan S.L., Skrebnev V.I., Malevanny D.V. Study of the effects of steel and polymer pipe roughness on the pressure loss in tailings slurry hydrotransport. *Obogashchenie Rud*. 2023;(4):41–49. <https://doi.org/10.17580/or.2023.04.08>
9. Петраков Д.Г., Пеньков Г.М., Золотухин А.Б. Экспериментальное исследование влияния горного давления на проницаемость песчаника. *Записки Горного института*. 2022;254:244–251. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.24>
Petraikov D.G., Penkov G.M., Zolotukhin A.B. Experimental study on the effect of rock pressure on sandstone permeability. *Journal of Mining Institute*. 2022;254:244–251. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.24>
10. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере. *Записки Горного института*. 2020;241:10–21. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.10>
Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes. *Journal of Mining Institute*. 2020;241:10–21. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.10>
11. Мустафаев А.С., Сухомлинов В.С., Бажин В.Ю., Буковецкий Н.А., Суоров А.В. Плазменная технология получения сверхчистого корунда. *Цветные металлы*. 2024;(4):21–29. <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.04.03>
Mustafaev A.S., Sukhomlinov V.S., Bazhin V.Yu., Bukovetskiy N.A., Surov A.V. Plasma technology for producing ultrapure corundum. *Tsvetnye Metally*. 2024;(4):21–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.04.03>
12. Великанов В.С. Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели. *Записки Горного института*. 2020;241:29–36. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.29>
Velikanov V.S. Mining excavator working equipment load forecasting according to a fuzzy-logistic model. *Journal of Mining Institute*. 2020;241:29–36. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.29>

13. Большунов А.В., Васильев Д.А., Дмитриев А.Н., Игнатьев С.А., Кадочников В.Г., Крикун Н.С. и др. Результаты комплексных экспериментальных исследований на станции Восток в Антарктиде. *Записки Горного института*. 2023;263:724–741. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16308> (дата обращения: 18.11.2024).
 Bolshunov A.V., Vasilev D.A., Dmitriev A.N., Ignatev S.A., Kadochnikov V.G., Krikun N.S. et al. Results of complex experimental studies at Vostok station in Antarctica. *Journal of Mining Institute*. 2023;263:724–741. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16308> (accessed: 02.10.2024).
14. Беликова Д.Д., Морозов Е.В., Хисамутдинова Э.Л. Оптимальное управление силовыми агрегатами горных машин в диапазоне эксплуатационных режимов при применении системы контроля качества моторного масла. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(6):95–103. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_6_0_95
 Belikova D.D., Morozov E.V., Khisamutdinova E.L. Optimizing control of mining machine power-units within the normal power setting range by means of engine oil quality monitoring. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(6):95–103. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_6_0_95
15. Симонова Л.А. *Информационное обеспечение управления технологическими маршрутами*. Saarbrücken: LAP LAMBERT; 2012. 196 с.
16. Safullin R.N., Reznichenko V.V., Safullin R.R. The software adaptive system for managing the heavy cargo transportation process based on the automated vehicle weight and size control system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1753:012063. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1753/1/012063>
17. Petrakov D.G., Loseva A.V., Alikhanov N.T., Jafarpour H. Standards for selection of surfactant compositions used in completion and stimulation fluids. *International Journal of Engineering*. 2023;36(9):1605–1610. <https://doi.org/10.5829/ije.2023.36.09c.03>
18. Жуковский Ю.Л., Сусликов П.К. Оценка потенциального эффекта применения технологии управления спросом на горных предприятиях. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(3):895–908. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-895-908>
 Zhukovsky Yu.L., Suslikov P.K. Assessment of the potential effect of applying demand management technology at mining enterprises. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(3):895–908. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-895-908>
19. Клебанов А.Ф., Бондаренко А.В., Жуковский Ю.Л., Клебанов Д.А. Организация удаленных центров управления горным предприятием: стратегические предпосылки и этапы реализации. *Горная промышленность*. 2024;(4):174–183. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-174-183>
 Klebanov A.F., Bondarenko A.V., Zhukovsky Yu.L., Klebanov D.A. Establishing remote control centers of a mining operation: strategic prerequisites and implementation stages. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):174–183. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-174-183>
20. Литвинова Т.Е., Герасёв С.А. Поведение фосфата церия (III) в карбонатно-щелочной среде. *Записки Горного института*. 2024:1–8. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16416> (дата обращения: 18.11.2024).
 Litvinova T.E., Gerasev S.A. Behaviour of cerium (III) phosphate in a carbonate-alkaline medium. *Journal of Mining Institute*. 2024:1–8. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16416> (accessed: 18.11.2024).

Информация об авторах

Сафиуллин Руслан Равилович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2315-3678>; e-mail: safiullin@yandex.ru

Симонова Лариса Анатольевна – доктор технических наук, член-корреспондент Российской академии естествознания, профессор кафедры автоматизации и управления, Набережночелнинский (институт) филиал Казанского федерального университета, г. Набережные Челны, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-3653-1845>; e-mail: lasimonova@mail.ru

Information about the authors

Ruslan R. Safiullin – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2315-3678>; e-mail: safiullin@yandex.ru

Larisa A. Simonova – Dr. Sci. (Eng.), Corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, Naberezhnye Chelny Institute, Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-3653-1845>; e-mail: lasimonova@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 28.11.2024
 Поступила после рецензирования: 24.01.2025
 Принята к публикации: 03.02.2025

Article info

Received: 28.11.2024
 Revised: 24.01.2025
 Accepted: 03.02.2025