

ISSN 2073-7432

# МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3-3 (90) 2025

ISSN 2073-7432. МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН 2025 3-3 (90) Индекс 16376 ("Пресса России")

Научно-технический  
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 3-3(90) 2025

# Мир транспорта и технологических машин

Учредитель - федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
(ОГУ имени И.С. Тургенева)

<p>Главный редактор: <b>Новиков А.Н.</b> д-р техн. наук, проф.</p> <p>Заместители главного редактора: <b>Васильева В.В.</b> канд. техн. наук, доц. <b>Родимцев С.А.</b> д-р техн. наук, доц.</p> <p>Редакция: <b>Агеев Е.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Агуреев И.Е.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Басков В.Н.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Власов В.М.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Глаголев С.Н.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Демич М.</b> д-р техн. наук, проф. (Сербия) <b>Денисов А.С.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Евтюков С.А.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Жаковская Л.</b> д-р. наук, проф. (Польша) <b>Жанказиев С.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Захаров Н.С.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Зырянов В.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Маткеримов Т.Ы.</b> д-р техн. наук, проф. (Кыргызстан) <b>Прентковский О.</b> д-р техн. наук, проф. (Литва) <b>Пржибыл П.</b> д-р техн. наук, проф. (Чехия) <b>Пугачев И.Н.</b> д-р техн. наук, доц. (Россия) <b>Пушкарёв А.Е.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Рассоха В.И.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Ременцов А.Н.</b> д-р пед. наук, проф. (Россия) <b>Ризаева Ю.Н.</b> д-р техн. наук, доц. (Россия) <b>Сарбаев В.И.</b> д-р техн. наук, профессор (Россия) <b>Трофименко Ю.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Трофимова Л.С.</b> д-р техн. наук, доц. (Россия) <b>Шарата А.</b> д-р. наук, проф. (Польша)</p> <p>Ответственный за выпуск: <b>Акимочкина И.В.</b></p> <p>Адрес редколлегии: 302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77 Тел. +79058566556 <a href="https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm">https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm</a> E-mail: <a href="mailto:srmostu@mail.ru">srmostu@mail.ru</a></p> <p>Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.</p> <p>Подписной индекс: <b>16376</b> по объединённому каталогу «Пресса России» на сайтах <a href="http://www.pressa-rg.ru">www.pressa-rg.ru</a> и <a href="http://www.akc.ru">www.akc.ru</a></p> <p>© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2025</p>	<h2>Содержание</h2> <p><i>Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте</i></p> <p><i>Е.Е. Витвицкий, Е.С. Галактионова Влияние применения групп более грузо-подъемных автотранспортных средств на результаты их работы при разных способах организации перевозок грузов помашинными отправлениями в городах М.Г. Бояришинов, Ю.А. Щукун Интенсивность транспортного потока и заполняемость парковочного пространства</i>..... 3</p> <p><i>И.Н. Пугачев, Н.Г. Шеиера Использование прогноза травматизма при ДТП, с целью совершенствования архитектуры интеллектуальных транспортных систем городских агломераций</i>..... 13</p> <p><i>Я.Д. Гончарова, А.А. Белехов Классификация передвижных автозаправочных модулей и требования к мобильным АЗС</i>..... 20</p> <p><i>С.С. Сабуров, М.Г. Бояришинов Международный транспортный коридор как объект исследования</i>..... 27</p> <p><i>Управление процессами перевозок</i></p> <p><i>С.А. Ярков Аспекты применения показателя объема перевозок пассажиров на единицу пробега городских маршрутных автобусов</i>..... 33</p> <p><i>О.В. Малихина Исследования многоуровневых систем при организации маршрутов перевозки негабаритных грузов</i>..... 40</p> <p><i>А.А. Кустенко, Д.В. Капский К вопросу расчёта задержек трамваев у светофорного объекта с учётом детерминированных и случайных факторов</i>..... 46</p> <p><i>Эксплуатация автомобильного транспорта</i></p> <p><i>И.И. Буслаева Влияние магнитных бурь на дорожно-транспортную аварийность в г. Якутске</i>..... 52</p> <p><i>А.Г. Кириллов, Р.В. Горбунов Обоснование глобального критерия оценки эффективности оперативного управления работоспособностью автомобилей</i>..... 61</p> <p><i>А.Н. Сакун, А.Н. Ременцов Некоторые методические подходы к определению причин отказов транспортных средств после ремонта</i>..... 68</p> <p><i>Е.Н. Грядунова, А.В. Горин, О.В. Яковленко, О.А. Акимочкина Особенности компоновки фонда оценочных средств по технической механике для транспортных направлений подготовки</i>..... 78</p> <p><i>И.А. Новиков, Д.А. Лазарев Оценка влияния критерия «психологический типаж личности водителя» на безопасность дорожного движения</i>..... 87</p> <p><i>Н.В. Лобов, Н.А. Решетников, А.И. Попов, М.А. Вахрушев Результаты экспериментального исследования тепловой напряженности электродвигателя электромобиля</i>..... 94</p> <p><i>В.И. Карагодин, В.Л. Кубышев Формирование комплексов транспортных характеристик крупногабаритных и тяжеловесных грузов</i>..... 102</p> <p><i>Интеллектуальные транспортные системы</i></p> <p><i>А.Д. Ефимов, А.О. Алибаганов, Ю.И. Савченко Анализ перспектив развития технологий интеллектуальных систем в автомобильной маршрутной навигации</i>..... 109</p> <p><i>Х. Цзянг, И. Ли, Р. Дай, Ю. Вэй Исследование механизмов воздействия транспортных потоков CAV в мультимодальных городских условиях</i>..... 118</p> <p><i>Логистические транспортные системы</i></p> <p><i>С. Джованис, В.И. Сарбаев, А.С. Гришин Использование современных технологий управления запасами (RFID, IOT) в автосервисных предприятиях республики Кипр</i>..... 126</p>
---	---

Журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК по научным специальностям: 2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте, 2.9.4. Управление процессами перевозок, 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы, 2.9.9. Логистические транспортные системы

# World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 3-3(90) 2025

Founder - Federal State Budgetary Educational Institution of Higher  
Education «Orel State University named after I.S. Turgenev»  
(Orel State University)

<p><b>Editor-in-Chief</b> <b>A.N. Novikov</b> Doc.Eng., Prof</p> <p><b>Associates Editor</b> <b>V.V. Vasileva</b> Can. Eng. <b>S.A. Rodimzev</b> Doc. Eng.</p>	<h2>Contents</h2> <p><i>Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport</i></p>
<p><b>Editorial Board:</b> <b>E.V. Ageev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>I.E. Agureev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>V.N. Baskov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>V.M. Vlasov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>S.N. Glagolev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>M. Demic</b> Doc. Eng., Prof. (Serbia) <b>A.S. Denisov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>S.A. Evtyukov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>L. Żakowska</b> Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland) <b>S.V. Zhankaziev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>N.S. Zaharov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>V.V. Zyryanov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>T.Y. Matkerimov</b> Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan) <b>O. Prentkovskis</b> Doc. Eng., Prof. (Lithuania) <b>P. Pribyl</b> Doc. Eng., Prof. (Czech Republic) <b>I.N. Pugachev</b> Doc. Eng. (Russia) <b>A.E. Pushkarev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>V.I. Rassoha</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>A.N. Rementsov</b> Doc. Edc., Prof. (Russia) <b>Yu.N. Rizaeva</b> Doc. Eng. (Russia) <b>V.I. Sarbaev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>Yu.V. Trofimenko</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>L.S. Trofimova</b> Doc. Eng. (Russia) <b>A. Szarata</b> Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</p>	<p><b>E.E. Vitvitsky, E.S. Galaktionova</b> Impact of using groups of more load-capacity motor vehicles on the results of cargo transportation by truck in cities with different ways of organizing them..... 3</p> <p><b>M.G. Boyarshinov, Y.A. Cshukin</b> The international transport corridor as an object of research..... 13</p> <p><b>I.N. Pugachev, N.G. Sheshera</b> Using road accident injury prediction to improve the architecture of intelligent transport systems in urban agglomerations..... 20</p> <p><b>I.D. Goncharova, A.A. Belekhov</b> Classification of mobile fuel stations and requirements to mobile fuel stations..... 27</p> <p><b>S.S. Saburov, M.G. Boyarshinov</b> The international transport corridor as an object of research..... 33</p> <p><i>Management of transportation processes</i></p> <p><b>S.A. Iarkov</b> The indicator of the volume of passenger transportation per unit mileage of urban shuttle buses..... 40</p> <p><b>O.V. Malikhina</b> Research of multilevel systems in the organization of transportation routes oversized cargo..... 46</p> <p><b>A.A. Kustenkov, D.V. Kapski</b> On the issue of calculating tram delays at traffic light objects taking into account deterministic and random factors..... 52</p> <p><i>Operation of motor transport</i></p> <p><b>I.I. Buslaeva</b> The impact of magnetic storms on road traffic accidents in Yakutsk..... 61</p> <p><b>A.G. Kirillov, R.V. Gorbunov</b> Substantiation of the global criterion for evaluating the effectiveness of operational vehicle performance management..... 68</p> <p><b>A.N. Sakun, A.N. Rementsov</b> Some methodological approaches to determining the causes of vehicle failures after repair..... 78</p> <p><b>E.N. Gryadunova, A.V. Gorin, O.V. Yakovlenko, O.A. Akimochkina</b> Features of the layout of the fund of evaluation tools in technical mechanics for transport directions of preparation..... 87</p> <p><b>I.A. Novikov, D.A. Lazarev</b> Impact assessment of the «driver's psychological type» criterion on road traffic safety..... 94</p> <p><b>N.V. Lobov, N.A. Reshetnikov, A.I. Popov, M.A. Vakhrushev</b> The results of an experimental study of the thermal tension of an electric motor of an electric vehicle..... 102</p> <p><b>V.I. Karagodin, V.L. Kubyshv</b> Formation of complexes of transport characteristics of large-sized and heavy loads..... 109</p>
<p><b>Person in charge for publication:</b> <b>I.V. Akimochkina</b></p>	<p><i>Intelligent transport systems</i></p> <p><b>A.D. Efimov, A.O. Alibagandov, Y.I. Savchenko</b> Analysis of the prospects for the development of intelligent systems technologies in automotive route navigation..... 118</p> <p><b>H. Jiang, Y. Li, R. Dai, Y. Wei</b> Study on the mechanisms of CAV traffic flow impact in urban multi-region environments..... 126</p>
<p><b>Editorial Board Address:</b> 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 <a href="https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm">https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm</a> E-mail: <a href="mailto:srmmostu@mail.ru">srmmostu@mail.ru</a></p>	<p><i>Logistic transport systems</i></p> <p><b>S. Tzjovanniss, V.I. Sarbaev, A.S. Grishin</b> The use of modern inventory management technologies (rfid, iot) in car service enterprises of the republic of Cyprus..... 134</p>
<p>The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФС77-67027 of August 30 2016</p>	
<p>Subscription index: <b>16376</b> in a union catalog «The Press of Russia» on sites <a href="http://www.pressa-rf.ru">www.pressa-rf.ru</a> <a href="http://www.akc.ru">www.akc.ru</a></p>	
<p>© Registration. Orel State University, 2025</p>	

The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of science, for the degree of doctor of sciences» of the Higher Attestation Commission (VAK) in the scientific specialties: 2.9.1. Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport, 2.9.4. Management of transportation processes, 2.9.5. Operation of motor transport, 2.9.8. Intelligent transport systems, 2.9.9. Logistic transport systems

**ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ  
ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ**

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-3-3(90)-3-12

Е.Е. ВИТВИЦКИЙ, Е.С. ГАЛАКТИОНОВА

**ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУПП БОЛЕЕ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ  
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ РАБОТЫ  
ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ  
ПОМАШИНЫМИ ОТПРАВКАМИ В ГОРОДАХ**

***Аннотация.** Результаты перевозок грузов зависят от множества факторов, в том числе, от способов их организации, в том числе коллаборации грузоотправителей, что позволяет не только отразить особенности исполнения перевозок, но и сравнить возможные результаты работы автомобилей, в сопоставимых условиях. Применение моделирования позволило достоверно построить планы перевозок грузов по машинными отправлениями в городах при разных способах их организации.*

***Ключевые слова:** группы грузоподъемных автотранспортных средств, планы перевозок грузов, способы организации перевозок*

**Введение**

Одним из методов повышения результатов работы грузовых автомобилей (АТС) в городах, как известно, является применение более грузоподъемных АТС (в другой формулировке – повышение грузоподъемности ( $q$ ) (грузовместимости) АТС). В диссертационной работе Рихтер М.Г. (СиБАДИ, 1993) доказано, что увеличение  $q$  может одновременно изменять время простоя под погрузкой-выгрузкой ( $t_{пв}$ ) и среднюю техническую скорость ( $V_t$ ) (как известно  $V_t$  – условная средняя скорость движения АТС, учитывающая кратковременные простои АТС по условиям движения, предназначена для целей планирования работы АТС). Предполагаем, что рассматриваемые АТС разной грузоподъемности имеются в наличии, что на этапе разработки плана перевозок грузов вполне допустимо. Сегодня стоянка АТС осуществляется на территории грузоотправителя, что примем за условие. Решение задачи рассмотрим первоначально на двух маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом, на каждом из которых предполагается работа группы АТС, затем на кольцевом маршруте, первый вариант организации перевозок – группа АТС в начале рабочего дня подается в один из пунктов погрузки, второй вариант организации перевозок – группы АТС в начале рабочего дня одновременно подаются в оба пункта погрузки на маршруте.

Городские грузовые перевозки сталкиваются с комплексом вызовов, включая растущий спрос на логистические услуги, экологические ограничения, перегруженность дорожной сети и необходимость оптимизации ресурсов. Современные исследования демонстрируют, что повышение эффективности этого процесса требует многоаспектного подхода, объединяющего технические, технологические, организационные и экологические решения.

Техническая модернизация парка и инфраструктуры остается фундаментом для снижения издержек. Работы [1] подчеркивают зависимость себестоимости перевозок от оптимизации пробега и коэффициентов использования грузоподъемности. Балгабеков Т.К. и Кошмаганбетова А.С. [2] акцентируют внимание на увеличении межремонтных пробегов, что снижает затраты на техническое обслуживание, а в статье [3] выделяют структуру подвижного состава и состояние производственной базы как ключевые факторы. Эти исследования подтверждают, что даже в условиях мегаполисов рациональная эксплуатация транспорта позволяет сократить операционные расходы.

В дополнение к техническим аспектам, значительный потенциал связан с внедрением цифровых технологий. Интеллектуальные транспортные системы (ИТС), по мнению авторов [4], способны повысить коммерческую эффективность за счет оптимизации маршрутов, управления движением и электронных платежей. В статье [5] предлагают использовать мобильные приложения по аналогии с сервисами такси (Uber, Gett) для оперативной подачи транспорта под погрузку, что особенно актуально в условиях ограниченного пространства городов. Решения, связанные с автоматизацией логистических схем, учитывающих расстояние, **грузоподъемность** и время доставки минимизируют простои и улучшают координацию между участниками цепочки поставок, подчеркивают их необходимость [6].

Многие работы, особенно зарубежных авторов концентрируются на различных аспектах экологической безопасности, изучению этой проблемы, в частности, посвящена работа [7]. В [8] доказывается, что ИКТ, такие как мобильная связь, способны сократить углеродный след за счет оптимизации маршрутов. Вместе с тем авторы [9] предупреждают о риббаунд-эффекте, когда рост энергоэффективности может стимулировать увеличение спроса на перевозки, частично нивелируя экологические преимущества, хотя Эти выводы указывают на необходимость баланса между технологическими инновациями и регуляторными мерами, такими как квоты на выбросы или стимулирование мультимодальных перевозок, а также на необходимость применения мер на организационном и планировочном этапах перевозок.

Важным направлением является реструктуризация логистических систем. В работе [10] предложено трансформировать транспортно-логистические сети на основе теории массового обслуживания, что позволяет моделировать потоки грузов в условиях неопределенности. Авторы [11] адаптируют показатель Overall Equipment Effectiveness (OEE) для оценки эффективности транспорта, делая акцент на вовлечении персонала в процесс оптимизации. Двадцать четыре практических варианта формирования устойчивости предприятия, включая внедрение green-технологий и **коллаборацию** между участниками рынка, выделены в [12], что особенно важно для мегаполисов с высокой нагрузкой на инфраструктуру. «Коллаборация – процесс совместной деятельности, например в интеллектуальной сфере, двух и более человек или организаций для достижения общих целей, при котором происходит обмен знаниями, обучение и достижение согласия. Как правило, этот процесс требует наличия руководящего органа...». А в работе [13] подчеркивается также значимость для обеспечения устойчивости комплексного подхода, включающего политические и регуляторные меры, меры по повышению логистической и транспортной эффективности, а также инновационные технологические меры.

Анализ ряда работ, связанных с исследованиями в различных странах мира, включая исследования по ЕС, Китаю и Норвегии, позволяет выявить общие барьеры развития, связанные, в первую очередь, с ростом автопарка, низким уровнем кооперации между компаниями, дефицитом квалифицированных кадров. Так, в [14] подчеркнута роль государственных программ бенчмаркинга, таких как британская инициатива KPI, позволяющих выявлять лучшие практики, но требующих учета взаимосвязи логистических процессов. Следует отметить, что, согласно [15] даже в городах с развитой инфраструктурой, таких как Осло, продуктивность грузоперевозок растет медленно из-за технического застоя и недостатка инноваций.

Ряд работ посвящен изучению системы показателей эффективности грузовых автомобильных перевозок. Так, в [16] предложена функция расходов по перевозкам грузов, при этом в рамках данной работы определены статистически значимые показатели, к которым отнесены рабочая сила, дизельное топливо, затраты на перевозку грузов, а грузооборот статистически незначим. В работе [17] отмечено, что значительное влияние на эффективность перевозок оказывает изменение параметров заявки. А автор [18] выделил системы показателей, характеризующие эффективность грузовых автомобильных перевозок на основе ресурсного подхода.

Таким образом, современные исследования формируют многомерную картину про-

блем и решений в сфере городских грузоперевозок. Они демонстрируют, что успешная оптимизация требует не только технологических инвестиций, но и системного подхода, объединяющего регуляторные меры, экологические стандарты и **коллаборацию** между государственными и частными субъектами. Однако остаются недостаточно изученными вопросы влияния урбанизации на логистические модели, а также социальные аспекты, такие как взаимодействие с местными сообществами. Эти пробелы определяют направления для дальнейших исследований, включая разработку адаптивных систем на основе Big Data и интеграцию мультимодальных решений в городскую среду.

### **Материал и методы**

Цель исследования – установление влияния применения групп более грузоподъемных АТС при разных способах организации перевозок грузов помашинными отправлениями на кольцевых маршрутах, в сравнении с результатами перевозок на маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом, в городах.

### **Теория**

На территории города предстоит перевозка грузов помашинными отправлениями в АТС с кузовом типа фургон, от поставщика №1, кроме воскресенья, пробег с грузом ( $l_2$ ) к грузополучателю 16 км. Стоянка АТС - в пункте погрузки, в каждом пункте погрузки или разгрузки только один пост погрузки или разгрузки, пробег нулевой второй ( $l_{n2}$ ) равен холостому, значение холостого ( $l_x$ ) пробега равно  $l_2$ , в любой день недели равно 16 км. Грузоподъемность АТС ( $q$ ) от 5 до 10 тонн, с шагом в каждый день недели 1 тонна, время простоя под погрузкой равно времени под разгрузкой, время простоя под погрузкой-разгрузкой ( $tn\theta$ ) определяется перемножением грузоподъемности АТС на класс груза (1 класс,  $\gamma=1$ ) и удельного времени простоя под погрузкой разгрузкой, равного 0,1 т/ч, для случая применения 5 тонного автомобиля  $tn\theta$  равно 0,5 ч. Грузовые операции выполняются с использованием ручной гидравлической тележки (рохля), перемещаемые транспортные пакеты собраны на стандартном поддоне (1200x1000), грузоподъемность 1000 кг, масса поддона с грузом брутто 1 тонна. Средняя техническая скорость для случая применения 5 тонного АТС ( $V_t$ ) 25 км/ч, время в наряде ( $T_n$ ) одна смена (8 часов), обед водителей возможен в пункте погрузки, разгрузки и по ходу следования, с 12.00 до 13.00 ежедневно. Перевозка осуществляется по улице 1-я Зеленая, в направлении с севера на юг, односторонний грузопоток. Перевозка предполагается группой АТС на маятниковом маршруте с обратным не груженым пробегом, прямоугольно-линейная схема городской транспортной сети. При разработке плана перевозок применены дискретный подход и математические модели описания функционирования малой не насыщенной автотранспортной системы перевозок грузов (АТСПГ), разработанные в СибАДИ, подход и модели часовой производительности (там же).

Выполнен расчет плана перевозок для группы АТС на маятниковом маршруте с обратным не груженым пробегом, в понедельник, согласно дискретному подходу и по модели СибАДИ в малой ненасыщенной АТСПГ, где были последовательно определены: длина маршрута  $l_m$ ; время ездки (оборота)  $te_o$ ; выработка в тоннах и тонно-километрах за езду(оборот); пропускная способность грузового поста ( $A\theta$ ) в автомобилях; возможное время работы каждого автомобиля в группе; число ездок каждого автомобиля за время работы; выполнена проверка возможности исполнения ездки каждым автомобилем группы на последнем обороте, при условии - если остаток времени в наряде после исполнения целого числа ездок больше времени ездки необходимого - ездка за остаток времени на последнем обороте выполняется, противном случае нет; выработка в тоннах и тонно-километрах каждого автомобиля за время работы; общий пробег каждого автомобиля за время работы; время в наряде каждого автомобиля фактическое; суммарная выработка в тоннах и тонно-километрах группы автомобилей; суммарный общий пробег группы автомобилей; суммарное отработанное время группой автомобилей; суммарный пробег с грузом за день; коэффициент использования пробега за день ( $\beta_{день}$ ). Также выполнен расчет плана перевозок на маятниковом маршруте с обратным не груженым пробегом согласно подходу и моделям почасовой производительности, где были последовательно определены: средняя длина груженой ездки  $l_{ge}$ ; коэф-

фициент использования пробега за езду, оборот  $\beta_{e,o}$ ; часовая производительность автомобиля в тоннах и в тонно-километрах, соответственно  $W_Q$  и  $W_P$ ; производительность одного автомобиля за день в тоннах  $W_{Q \text{ день}}$  и в тонно-километрах  $W_{P \text{ день}}$ ; производительность группы автомобилей за день в тоннах  $W_{Q^{zp} \text{ день}}$  и в тонно-километрах  $W_{P^{zp} \text{ день}}$ . Выполнены расчеты плана перевозок группой АТС для других дней недели, при использовании все более грузоподъемных автомобилей на 1 тонну в каждый день недели, соответствующей каждой грузоподъемности  $tnb$ , используя значение средней технической скорости, согласно, против предыдущего дня, опуская промежуточные значения. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты работы группы АТС по дням недели от поставщика №1 (маршрут маятниковый)

Технико-эксплуатационные показатели	Дни недели					
	понедельник	вторник	среда	четверг	пятница	суббота
L <sub>г</sub> , км	16	16	16	16	16	16
L <sub>х</sub> , км	16	16	16	16	16	16
L <sub>м</sub> , км	32	32	32	32	32	32
te,о ч.	1,78	1,88	2,03	2,13	2,23	2,33
Q <sub>e,o</sub> , т	5	6	7	8	9	10
P <sub>e,o</sub> , т·км	80	96	112	128	144	160
Aз', с окр., ед.	7	6	5	5	4	4
Zeобщ, ед.	28	22	17	16	12	12
Q <sub>н</sub> , т	140	132	122	128	108	120
P <sub>н</sub> , т·км	2240	2112	1904	2048	1728	1920
Loбщ, км	896	704	544	512	384	384
Tнфакт, ч	49,84	41,36	34,56	34,13	26,8	28,0
$\beta$ день	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Согласно подходу и моделям часовой производительности (1 вариант)</b>						
l <sub>ge</sub> , км	16	16	16	16	16	16
$\beta_{e,o}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
W <sub>Q</sub> , т/ч	2,8	3,19	3,44	3,75	4,03	4,285
W <sub>P</sub> , т·км/ч	44,94	51,06	55,08	60,0	64,48	68,57
W <sub>Qдень</sub> , т	22,4	25,52	27,52	30,0	32,24	34,28
W <sub>Pдень</sub> , т·км	358,4	408,32	440,32	480,0	515,84	548,48
W <sub>Q<sup>zp</sup>день</sub> , т	156,8	153,12	137,6	150,0	128,96	137,12
W <sub>P<sup>zp</sup>день</sub> , т·км	2508,8	2449,92	2201,6	2400,0	2063,36	2193,92
<b>2 вариант</b>						
Aз=Q <sub>н</sub> / W <sub>Qдень</sub> , ед.	140/22,4=6,25	132/25,52=5,17	122/27,52=4,4	128/30,0=4,27	108/32,24=3,3	120/34,2=3,5

Выяснилось, что одновременно во времени уже описанной практики работы, выполняются перевозки от поставщика №2, по улице 3-я Зеленая, в направлении с юга на север, также односторонний грузопоток, все остальные исходные данные и условия аналогичны вышерассмотренному примеру. Поэтому результаты работы группы АТС по дням недели от поставщика №2 аналогичны представленным в таблице 1. Поставщик №1 находится через улицу, напротив потребителя, обслуживаемого в понедельник поставщиком №2. Поставщик №2 находится через улицу, напротив потребителя, обслуживаемого в понедельник поставщиком №1. Между названными улицами и объектами, на них расположенными, 3 км. Другим вариантом организации перевозок грузов в рассматриваемых условиях может быть применение кольцевого (рис. 1) маршрута (коллорабация грузоотправителей), при удовлетворении требований:

- суммарный пробег с грузом за оборот на маршруте должен быть больше суммы холостых пробега за тот же оборот;
- транспортно-однородный груз, т.е. для перевозки грузов по всем звеньям маршрута возможно использование одних и тех же транспортных средств;

- время оборота по кольцевому маршруту не должно превышать время в наряде автомобиля;
- грузы должны быть перевезены в течение одного временного периода (например, за смену);
- отсутствие возражений клиентуры на организацию кольцевого маршрута.

### Результаты и обсуждение

Проверка показала выполнение требований. В зависимости от взаимного расположения грузовых пунктов и транспортных связей схема кольцевого маршрута в каждый день недели имеет вид (рис. 1). Для примера схема движения автомобиля первой группы – погрузка в П1, перевозка груза в Р1, разгрузка, движение первым холостым пробегом в П2, погрузка, перевозка груза в Р2, разгрузка, движение в П1 на погрузку. Количество выполняемых ездов за оборот ( $Z_e^o$ ) – две.

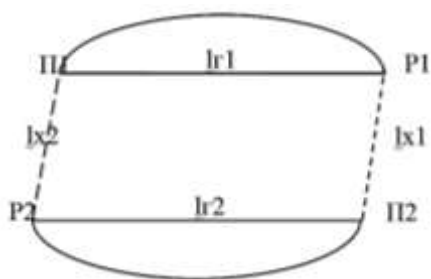


Рисунок 1 - Схема кольцевого маршрута

Перевозка груза на кольцевом маршруте может быть организована в двух вариантах:

1 вариант - перевозка начинается с подачи всех автомобилей в один пункт погрузки, например в П1.

2 вариант - перевозка начинается с подачи всех автомобилей в оба пункта погрузки, в П1 и в П2.

Рассчитан план перевозок на кольцевом маршруте, по 1 варианту его организации, в понедельник, согласно дискретному подходу и по модели СибАДИ в малой не насыщенной АТСПГ, где были последовательно определены: среднее время ездки  $te_{cp}$ ; про-

пускная способность грузового поста  $Aэ'$  по формуле  $Aэ' = to/R_{max}$ , где  $R_{max}$  - максимальная по времени грузовая операция, округляем значение  $Aэ'$  в меньшую сторону; выполнен расчет возможного времени работы каждого автомобиля  $T_{ми}$ ; число ездов каждого АТС за время в наряде  $Ze_i$ ; выполнена проверка возможности исполнения ездки каждым автомобилем группы на последнем обороте, при условии - если остаток времени в наряде после исполнения целого числа ездов больше времени ездки необходимого - ездка за остаток времени на последнем обороте выполняется, противном случае нет; число оборотов автомобиля за время в наряде  $Zoi$ ; выработка в тоннах и тонно-километрах каждого автомобиля группы за время в наряде  $Q_{ni}$  и  $P_{ni}$ ; общий пробег каждого автомобиля за время в наряде (все авто возвращаются вторым нулевым пробегом с последнего места разгрузки в начальный пункт погрузки); время в наряде каждого автомобиля фактическое  $T_{ni}$ ; суммарная выработка в тоннах группы автомобилей  $Q_n$  и в тонно-километрах  $P_n$ ; суммарный общий пробег группы автомобилей  $L_{общ}$ ; суммарное отработанное время группой автомобилей  $T_n$  факт; суммарный пробег с грузом за день ( $L_g$  день); коэффициент использования пробега за день ( $\beta$  день). Также выполнен расчет плана перевозок на кольцевом маршруте согласно подходу и моделям почасовой производительности, где были последовательно определены ранее указанные показатели. Выполнен расчет плана перевозок группой автомобилей для других дней недели. Результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты работы группы автомобилей по дням недели при подаче на первую погрузку к поставщику №1 (кольцевой маршрут)

Показатели	Дни недели					
	понедельник	вторник	среда	четверг	пятница	суббота
1	2	3	4	5	6	7
Q, т	5	6	7	8	9	10
Lr1 (Lr2), км	16	16	16	16	16	16
Lx1 (Lx2), км	9	9	9	9	9	9
Lm, км	50	50	50	50	50	50
to, ч	3,0	3,2	3,48	3,68	3,88	4,08
Qo, т	10	12	14	16	18	20
Ро, т·км	160	192	224	256	288	320



Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Аэ', с окр. вниз, ед.	12	10	9	9	8	8
Зеобщ, ед.	50	39	32	29	24	22
Qн, т	250	234	224	232	216	220
Рн, т·км	4000	3744	3584	3812	3456	3520
Лобщ, км	1346	1010	828	760	628	578
Тнфакт, ч	78,84	63,8	56,93	54,89	47,78	46,08
β день	0,67	0,62	0,62	0,61	0,61	0,609
Подход и модели часовой производительности (1 вариант)						
lze, км	16	16	16	16	16	16
βe, o	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
W <sub>Q</sub> , т/ч	3,385	3,75	4,02	4,34	4,635	4,897
W <sub>P</sub> , т·км/ч	53,33	60	64,31	69,5	74,16	78,37
W <sub>Qдень</sub> , т	26,64	30	32,16	34,72	37,08	39,176
W <sub>Pдень</sub> , т·км	426,24	480	514,56	555,52	593,28	628,816
W <sub>Q<sup>2P</sup>день</sub> , т	319,68	300	289,44	312,48	296,64	313,41
W <sub>P<sup>2P</sup>день</sub> , т·км	5114,88	4800	4631,04	4999,68	4746,2	5014,53
2 вариант						
Аэ=Qн/W <sub>Qдень</sub> , ед.	250/26,64=9,38	234/30=7,8	224/32,16=6,97	232/34,72=6,68	216/37=5,82	220/39,176=5,61

2 вариант организации перевозок на кольцевом маршруте (рис. 1) - при подаче групп АТС в начале дня в оба пункта погрузки, в П1 и в П2. Выполнены условия 1-5 аналогично предыдущему примеру. Рассчитан план перевозок на кольцевом маршруте, по 2 варианту его организации, в понедельник, согласно дискретному подходу и по модели СиБАДИ, в малой не насыщенной АТСПГ, где были последовательно определены: среднее время ездки формула  $te_{cp}$ ; пропускная способность грузового поста  $Aэ'$  по формуле  $Aэ' = te_{cp} / R_{max}$ . округляем значение  $Aэ'$  в меньшую сторону; выполнен расчет возможного времени работы каждого автомобиля  $Tm_i$ ; число ездок каждого автомобиля за время в наряде  $Ze_i$ ; выполнена проверка возможности исполнения ездки каждым автомобилем группы на последнем обороте, при условии - если остаток времени в наряде после исполнения целого числа ездок больше времени ездки *необходимого* - ездка за остаток времени на последнем обороте выполняется, противном случае нет; и другие ранее указанные показатели. Также выполнен расчет плана перевозок на кольцевом маршруте согласно подходу и моделям почасовой производительности, где были последовательно определены ранее указанные показатели. Выполнен расчет плана перевозок группой автомобилей для других дней недели. Результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Изменение результатов работы групп АТС по дням недели при подаче на первую погрузку к поставщику №1 И №2 одновременно (кольцевой маршрут)

Показатели	Дни недели					
	понедельник	вторник	среда	четверг	пятница	суббота
1	2	3	4	5	6	7
Lr1 (Lr2), км	16	16	16	16	16	16
Lx1 (Lx2), км	9	9	9	9	9	9
Lm, км	50	50	50	50	50	50
To, ч	3,0	3,2	3,48	3,68	3,88	4,08
Аэ', с каждого поста погр., ед.	6+ 6	5+5	4+4	4+4	4+4	4+4
Ze, ед. с П1,1 авто	5	5	4	4	4	4
2 авто	5	5	4	4	4	3
3 авто	5	4	4	4	3	3
4 авто	5	4	4	3	3	3
5 авто	4	4	-	-	-	-
6 авто	4	-	-	-	-	-

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
Ze, ед. с П2,1 авто	5	5	4	4	4	4
2 авто	5	5	4	4	4	3
3 авто	5	4	4	4	3	3
4 авто	5	4	4	3	3	3
5 авто	4	4	-	-	-	-
6 авто	4	-	-	-	-	-
Zeобщ, ед.	56	44	32	30	28	26
Qн, т	280	264	224	240	252	260
Pн, т·км	4480	4224	3584	3840	4032	4160
Lобщ, км	1456	1128	800	764	728	692
Tнфакт, ч	86,24	71,52	55,76	55,86	55,56	54,86
β день	0,615	0,624	0,64	0,628	0,615	0,6
Подход и модели часовой производительности (1 вариант)						
Lге, км	16	16	16	16	16	16
βо	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
W <sub>Q</sub> т/ч	3,333	3,75	4,02	4,34	4,635	4,9
W <sub>P</sub> т·км/ч	53,33	60	64,31	69,5	74,16	78,36
W <sub>Qдень</sub> т	25,66	30	32,16	34,72	37,08	39,2
W <sub>P день</sub> т·км	426,62	480	514,56	555,52	593,28	627,2
W <sub>Q<sup>р</sup></sub> день т	307,92	300	257,28	277,76	296,64	313,6
W <sub>P<sup>р</sup></sub> день т·км	5119,44	4800	4116,48	4444,16	4746,24	5017,6
2 вариант						
Aз=Qн/W <sub>Qдень</sub> , ед.	280/25,66=10,91	264/30=8,8	224/32,16=6,97	240/34,72=6,91	252/37,08=6,8	260/39,2=6,63

### Выводы

1. Применение подхода и моделей расчета часовой производительности в восемнадцати вариантах расчета, на помашинных перевозках грузов в городах, не позволяет точно определить результаты работы, как одного автомобиля, так и группы (групп) АТС на маятниковом маршруте с обратным не груженым пробегом, на кольцевом маршруте (при работе группы АТС с одного поста погрузки, при работе групп АТС с двух постов погрузки одновременно).

2. Гипотеза теории грузовых автомобильных перевозок о способе повышения выработки автомобиля на помашинных перевозках грузов в городах, при освоении односторонних (но не встречных) грузопотоков в городах, организацией кольцевого маршрута (1 вариант организации), чем на нескольких маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом не подтверждена ни для одного дня недели и грузоподъемности групп АТС.

Гипотеза теории грузовых автомобильных перевозок о способе повышения выработки автомобиля в тоннах, на помашинных перевозках грузов в городах, при освоении односторонних (но не встречных) грузопотоков в городах организацией кольцевого маршрута (2 вариант организации), чем на нескольких маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом подтверждена только в пятницу (грузоподъемность АТС =9 т) и субботу (грузоподъемность АТС =10 т). Для остальных дней недели и грузоподъемностей АТС суммарная выработка в тоннах группы автомобилей на кольцевом маршруте (2 вариант организации) меньше, чем суммарная выработка в тоннах двух групп автомобилей, перевозящих грузы на двух маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом.

3. Применение более грузоподъемных АТС на маятниковом маршруте с обратным не груженым пробегом в городе снижает выработку в тоннах группы АТС, против предыдущего значения при грузоподъемности группы АТС = 6 т, 7 т, 9 т и повышает выработку в тоннах группы АТС против предыдущего значения, при грузоподъемности АТС 8 и 10 т.

Применение более грузоподъемных АТС на кольцевом маршруте (1 вариант организации) в городе снижает выработку в тоннах группы АТС (против предыдущего значения,

при грузоподъемности АТС = 6 т, 7 т, 9 т) и повышает выработку в тоннах группы АТС (против предыдущего значения при грузоподъемности АТС = 8 т, 10 т).

Применение более грузоподъемных АТС на кольцевом маршруте (2 вариант организации) в городе снижает выработку в тоннах группы АТС (против предыдущего значения, при грузоподъемности АТС = 6 т, 7 т) и повышает выработку в тоннах группы АТС (против предыдущего значения, при грузоподъемности АТС = 8 т, 9 т, 10 т).

4. Организация перевозок грузов на кольцевом маршруте с подачей двух групп автомобилей на первую погрузку в каждый пункт погрузки (2 вариант организации) по критерию выработки групп автомобилей в тоннах более результативна во все дни недели, кроме среды (грузоподъемность АТС 8 т), чем организация перевозок грузов на кольцевом маршруте с подачей группы автомобилей на первую погрузку в один пункт погрузки (1 вариант организации)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В.С., Буторин Т.А., Филатов Г.М. Повышение эффективности грузовых автомобильных перевозок [Электронный ресурс] / Современные проблемы науки и образования. 2013. №5. С. 42-42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20992085>.
2. Балгабеков Т.К., Кошмаганбетова А.С. Факторы, влияющие на эффективность эксплуатации грузовых автомобилей [Электронный ресурс] / Международный журнал экспериментального образования. 2016. №12-2. С. 190-194. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27425472>.
3. Усембаева Л.К., Оспанов А.Ж., Кайролла Б.К. К вопросу повышения эффективности эксплуатации грузовых автомобилей [Электронный ресурс] / Наука и техника Казахстана. 2018. №4. С. 102-108. <https://elibrary.ru/item.asp?id=36965740>.
4. Горев А.Э., Попова О.В. Развитие сервисов ИТС для повышения эффективности грузовых перевозок [Электронный ресурс] / Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2016. №1. С. 21-26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30094445>.
5. Шепелев В.Д., Галимова Д.Р., Романюк С.А. Повышение эффективности грузовых перевозок в мегаполисах [Электронный ресурс] / Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2017. Т. 4. №1. С. 128-131. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30041789>.
6. Дернова К.К., Князькина О.В. Повышение эффективности грузовых перевозок автомобильным транспортом [Электронный ресурс] / Электроэнергетика сегодня и завтра. 2023. С. 192-195. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50517938>.
7. Domagała J., Kadłubek M. Economic, energy and environmental efficiency of road freight transportation sector in the EU [Электронный ресурс] / Energies. 2022. Т. 16. №1. С. 461. URL: <https://doi.org/10.3390/en16010461>.
8. Chatti W. Information and communication technologies, road freight transport, and environmental sustainability [Электронный ресурс] / Environmental Economics. 2020. Т. 11. №1. С. 124. URL: [http://dx.doi.org/10.21511/ee.11\(1\).2020.11](http://dx.doi.org/10.21511/ee.11(1).2020.11).
9. Matos F.J.F., Silva F.J.F. The rebound effect on road freight transport: Empirical evidence from Portugal [Электронный ресурс] / Energy Policy. 2011. Т. 39. №5. С. 2833-2841. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.05>.
10. Лебедев Е.А. Повышение эффективности эксплуатации грузового автомобильного транспорта на основе реструктуризации транспортно-логистических систем // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №3. С. 22-30.
11. García-Arca J., Prado-Prado J.C., Fernández-González A.J. Integrating KPIs for improving efficiency in road transport // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 2018. Т. 48. №9. С. 931-951.
12. Fulzele V., Shankar R. Improving freight transportation performance through sustainability best practices // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2022. Т. 165. С. 285-299.
13. McKinnon A.C. Benchmarking road freight transport: Review of a government-sponsored programme // Benchmarking: An International Journal. 2009. Т. 16. №5. С. 640-656.
14. Rødseth K.L. Productivity growth in urban freight transport: An index number approach // Transport Policy. 2017. Т. 56. С. 86-95.
15. Nkesah S.K. Making road freight transport more Sustainable: Insights from a systematic literature review // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. 2023. Т. 22. С. 100967.
16. Никоноров В.М. Показатели эффективности грузовых автомобильных перевозок [Электронный ре-

сурс] / Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2011. №4. С. 87-94. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17093728>.

17. Витвицкий Е.Е., Кабанец Д.Ю. Влияние изменения параметров заявки на эффективность применения способа перевозок грузов автомобилями // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. №2 (30). С. 7-12.

18. Григорьева А.А. Система показателей характеризующих эффективность грузовых автомобильных перевозок [Электронный ресурс] / Молодежь и XXI век-2016. 2016. С. 135-138. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25564820>.

**Витвицкий Евгений Евгеньевич**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

Адрес: 644080, Россия, г. Омск, просп. Мира, 5

Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Организация перевозок и безопасность движения», эксперт-член Комиссии по вопросам цифровой и низкоуглеродной трансформации отрасли, ускоренному внедрению новых технологий Общественного совета Минтранса России

E-mail: vitvitsky\_ee@mail.ru

**Галактионова Елена Сергеевна**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

Адрес: 644080, Россия, г. Омск, просп. Мира, 5

К.т.н., доцент кафедры «Организация перевозок и безопасность движения»

E-mail: es\_galaktionova@inbox.ru

---

E.E. VITVITSKY, E.S. GALAKTIONOVA

## **IMPACT OF USING GROUPS OF MORE LOAD-CAPACITY MOTOR VEHICLES ON THE RESULTS OF CARGO TRANSPORTATION BY TRUCK IN CITIES WITH DIFFERENT WAYS OF ORGANIZING THEM**

**Abstract.** *The results of cargo transportation depend on many factors, including the methods of their organization, including the collaboration of shippers, which allows not only to reflect the features of the execution of transportation, but also to compare the possible results of the work of cars, in comparable conditions. The use of modeling allowed to reliably build plans for the transportation of goods by car shipments in cities with different methods of their organization.*

**Keywords:** *groups of lifting vehicles, plans for cargo transportation, methods of organizing transportation*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Volkov V.S., Butorin T.A., Filatov G.M. Povyshenie effektivnosti gruzovykh avtomobil'nykh perevozok [Elektronnyy resurs] / Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. №5. С. 42-42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20992085>.

2. Balgabekov T.K., Koshmaganbetova A.S. Faktory, vliyayushchie na effektivnost' ekspluatatsii gruzovykh avtomobiley [Elektronnyy resurs] / Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. 2016. №12-2. С. 190-194. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27425472>.

3. Usembaeva L.K., Ospanov A.ZH., Kayrolla B. K voprosu povysheniya effektivnosti ekspluatatsii gruzovykh avtomobiley [Elektronnyy resurs] / Nauka i tekhnika Kazakhstana. 2018. №4. С. 102-108. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36965740>.

4. Gorev A.E., Popova O.V. Razvitie servisov ITS dlya povysheniya effektivnosti gruzovykh perevozok [Elektronnyy resurs] / Vestnik Donetskoy akademii avtomobil'nogo transporta. 2016. №1. С. 21-26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30094445>.

5. Shepelev V.D., Galimova D.R., Romanyuk S.A. Povyshenie effektivnosti gruzovykh perevozok v megapolisakh [Elektronnyy resurs] / Alternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya. 2017. Т. 4. №1. С. 128-131. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30041789>.

6. Dernova K.K., Knyaz'kina O.V. Povyshenie effektivnosti gruzovykh perevozok avtomobil'nyim transportom [Elektronnyy resurs] / Elektroenergetika segodnya i zavtra. 2023. С. 192-195. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50517938>.

7. Domagaa J., Kadubek M. Economic, energy and environmental efficiency of road freight transportation sector in the EU [Elektronnyy resurs] / Energies. 2022. Т. 16. №1. С. 461. URL: <https://doi.org/10.3390/en16010461>

8. Chatti W. Information and communication technologies, road freight transport, and environmental sustainability [Elektronnyy resurs] / Environmental Economics. 2020. T. 11. №1. S. 124. URL: [http://dx.doi.org/10.21511/ee.11\(1\).2020.11](http://dx.doi.org/10.21511/ee.11(1).2020.11).
9. Matos F.J.F., Silva F.J.F. The rebound effect on road freight transport: Empirical evidence from Portugal [Elektronnyy resurs] / Energy Policy. 2011. T. 39. №5. S. 2833-2841. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.05>.
10. Lebedev E.A. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii gruzovogo avtomobil'nogo transporta na osnove restrukturizatsii transportno-logisticheskikh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2012. №3. S. 22-30.
11. Garca-Arca J., Prado-Prado J.C., Fernandez-Gonzalez A.J. Integrating KPIs for improving efficiency in road transport // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 2018. T. 48. №9. S. 931-951.
12. Fulzele V., Shankar R. Improving freight transportation performance through sustainability best practices // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2022. T. 165. S. 285-299.
13. McKinnon A.C. Benchmarking road freight transport: Review of a government sponsored programme // Benchmarking: An International Journal. 2009. T. 16. №5. S. 640-656.
14. Rdseth K.L. Productivity growth in urban freight transport: An index number approach // Transport Poli-cy. 2017. T. 56. S. 86-95.
15. Nkesah S.K. Making road freight transport more Sustainable: Insights from a systematic literature review // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. 2023. T. 22. S. 100967.
16. Nikonorov V.M. Pokazateli effektivnosti gruzovykh avtomobil'nykh perevozok [Elektronnyy resurs] / Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. VI Vernadskogo. 2011. №4. S. 87-94. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17093728>.
17. Vitvitskiy E.E., Kabanets D.YU. Vliyanie izmeneniya parametrov zayavki na effektivnost` primeneniya sposoba perevozok gruzov avtomobilyami // Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii. 2013. №2 (30). S. 7-12.
18. Grigor`eva A.A. Sistema pokazateley kharakterizuyushchikh effektivnost` gruzovykh avtomobil'nykh perevozok [Elektronnyy resurs] / Molodezh` i XXI vek-2016. 2016. S. 135-138. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25564820>.

**Vitvitsky Evgeny Evgenyevich**

Siberian State Automobile and Road University (SibADI)

Address: 644080, Russia, Omsk, ave. Mira, 5

Doctor of Technical Sciences

E-mail: vitvitsky\_ee@mail.ru

**Galaktionova Elena Sergeevna**

Siberian State Automobile and Road University (SibADI)

Address: 644080, Russia, Omsk, ave. Mira, 5

Candidate of Technical Sciences

E-mail: es\_galaktionova@inbox.ru

М.Г. БОЯРШИНОВ, Ю.А. ЩУКИН

## ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА И ЗАПОЛНЯЕМОСТЬ ПАРКОВОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА

**Аннотация.** Предмет исследования – закономерности заполняемости парковочных мест и зависимости между интенсивностью транспортного потока и интенсивностью заезда и выезда автомобилей с парковочной территории с учетом времени года. Наблюдения велись в течение отдельных недель весной (апрель), летом (июль), осенью (октябрь) и зимой (февраль). Цифровые данные получены с использованием стационарного комплекса «Азимут ДТ», контролирующего движение автотранспортных средств по парковочной территории. Результаты исследования могут служить основой для организации движения транспорта по городской улично-дорожной сети, при зонировании и планировании городской территории.

**Ключевые слова:** парковочная территория, заполняемость парковочной территории, продолжительность парковки

### Введение

Показатели функционирования парковочных территорий, заполняемость парковочных мест, организация парковочной территории как части городской планировочной системы рассматриваются в [1-3].

Средства фото- и видео-фиксации позволяют фиксировать государственные регистрационные знаки [3], определять наличие свободных мест на парковке [4], изучать характеристики парковочного пространства [5, 6]. Динамический анализ парковочных территорий [7] позволяет исследовать поведение водителей, изучать продолжительности парковки автомобилей, количество пассажиров в машине, скорость и продолжительность передвижения пешеходов по парковочной территории [8].

В [9] определен набор входных и выходных данных, сформулированы функциональные требования для моделей парковочного пространства. В [10] при определении продолжительностей парковки автомобилей применяется теория массового обслуживания. В [11] предложена модель доступности парковочных мест на основе корреляционных связей между парковками. Сооружение многоуровневых парковок [12] является возможным решением проблемы транспортных заторов. В [13] изучается целесообразность подземно-наземных автостоянок на территории жилой застройки. Размещение на городской территории стоянок «перехватывающего» типа [14] позволит использовать совместно общественный и индивидуальный транспорт. Формирования цен для платных парковок представляет собой методическую и социальную проблему [15]. Рациональный путь ее решения – обеспечение равномерной занятости парковочных мест регулированием стоимости машино-места за счет повышения цены до того уровня, пока имеется хотя бы одно свободное место в течение суток [16].

### Материал и методы

Для исследования выполнено натурное наблюдение за функционированием придорожной парковки, включающей 30 машино-мест. Наблюдение выполнялось в течение весны, лета и осени 2023 года, а также зимой 2024 года. Рассматриваемая территория расположена в непосредственной близости от учебного заведения и активно используется для доставки в школу и вывоза учащихся по окончании занятий в течение шесть дней недели, с понедельника по субботу. Наблюдение осуществлялось с помощью программно-технического комплекса «Азимут ДТ», в режиме реального времени, фиксирующего государственный регистрационный знак, время заезда и выезда автомобиля с территории парковки.

**Теория**

Интенсивности  $N^{in}$  заезда автомобилей на парковку и  $N^{out}$  выезда с нее вычислялись согласно выражению

$$N^{in/out}(t) = \Delta K / \Delta t, \quad (1)$$

где  $t$  – время заезда (выезда);

$\Delta K$  – количество автомобилей, заехавших (выехавших) на парковочную территорию за время  $\Delta t$ .

Экспоненциальные распределения [17] плотностей  $p$  вероятностей и вероятностей  $P$  продолжительностей  $\tau$  интервалов между заездами автомобилей на парковку описываются соотношениями

$$p = v e^{-v\tau}, \quad P = 1 - e^{-v\tau}, \quad (2)$$

где  $v$  – средняя за сутки интенсивность заезда автомобилей на парковочное пространство.

Вероятность  $P$  заезда  $k$  автомобилей на парковку в течение времени  $\tau$  при средней суточной интенсивности  $v$  при реализации пуассоновского потока событий [17] определяется выражением

$$P = (v\tau)^k e^{-v\tau} / k!. \quad (3)$$

Установление наличия функциональной связи между интенсивностью  $N$  транспортного потока по прилегающей дороге и интенсивностью  $N^{in}$  заезда автомобилей на парковочную территорию и  $N^{out}$  выезда с нее целесообразно определять с использованием коэффициента корреляции, вычисляемого по формуле

$$K = \frac{\sum_{j=1}^n (N_j - N_{cp})(N_j^{in} - N_{cp}^{in})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (N_j - N_{cp})^2 (N_j^{in} - N_{cp}^{in})^2}}, \quad (4)$$

где  $N_{cp}^{in}$  и  $N_{cp}$  – средние значения интенсивности  $N^{in}$  заезда автомобилей на парковочную территорию и интенсивности  $N$  транспортного потока на основной дороге. Коэффициент корреляции между интенсивностью  $N$  и интенсивностью  $N^{out}$  рассчитывался с помощью того же выражения (4).

**Результаты**

На рисунке 1 показана заполняемость  $K$  парковочного пространства как функция времени.

Данные, представленные на рисунке 1 дали возможность определить интенсивности  $N^{in}$  заезда автомобилей на территорию парковки (рис. 2, а) и  $N^{out}$  выезда с нее (рис. 2, б) с использованием выражения (1), при этом осреднение выполнялось при величине  $\Delta t = 20$  мин.

На рисунке 3 приведены эмпирические кривые плотности  $p$  вероятностей и вероятностей  $P$  распределения интервалов времени  $\tau$  между заездами автомобилей на парковку и аппроксимирующие их кривые экспоненциального распределения (2).

На рисунке 4, а показаны зависимости от времени интенсивности  $N$  потока транспортных средств по основной дороге и интенсивности  $N^{in}$  заезда автомобилей на парковочную территорию. Зависимость  $N^{in}(N)$ , полученная исключением времени для кривых, представленных на рисунке 4а, отражена на рисунке 4б. Здесь же изображена линейная аппроксимация полученной зависимости  $N^{in}(N)$  и значения коэффициента  $K$  корреляции и показателя  $R^2$  детерминации.

На рисунке 5 представлены зависимости между интенсивностью  $N^{in}$  заезда автомобилей на прилегающую парковочную территорию, осредненными с понедельника по субботу, и интенсивностью  $N$  транспортного потока на основной дороге; линейные аппроксимации этих

зависимостей, коэффициенты к корреляции и показатели  $R^2$  детерминации для данных, полученных весной, летом, осенью 2023 года и зимой 2024 года.

Аналогичные зависимости между интенсивностями  $N$  и  $N^{out}$ , линейные аппроксимации, коэффициенты к корреляции и  $R^2$  детерминации представлены на рисунке 6.

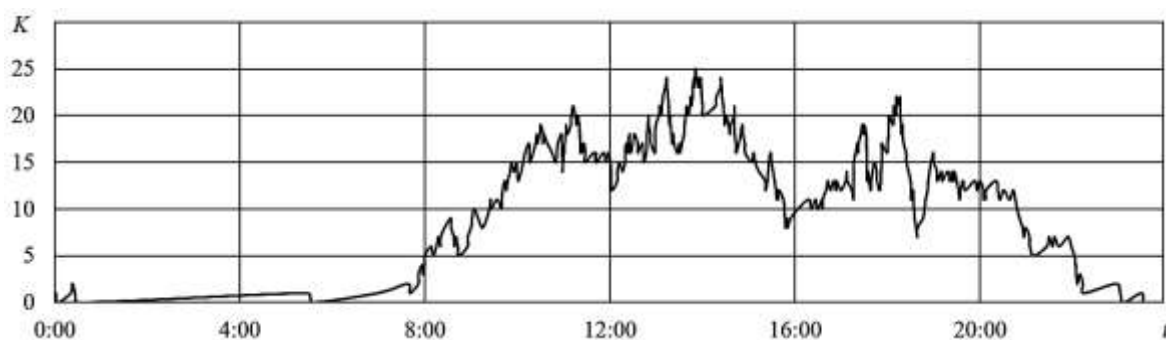


Рисунок 1 - Зависимость от времени  $t$  заполняемости  $K$  (авт) парковочной территории; на примере октября (среда) 2023 года

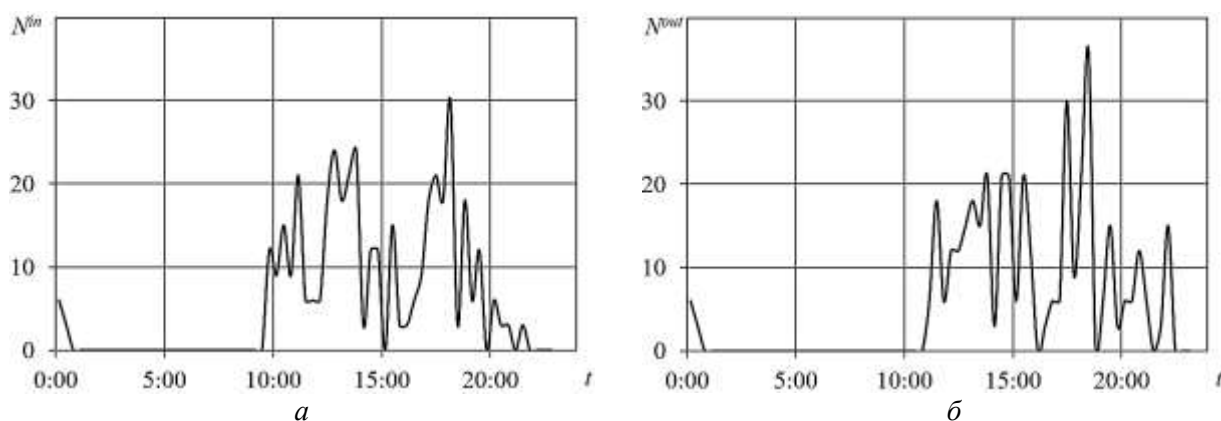


Рисунок 2 - Зависимость от времени  $t$  интенсивности  $N^{in}$  (авт/час) заезда автомобилей на парковочной территории (слева) и выезда  $N^{out}$  (авт/час) с нее (справа); октябрь (среда) 2023 года

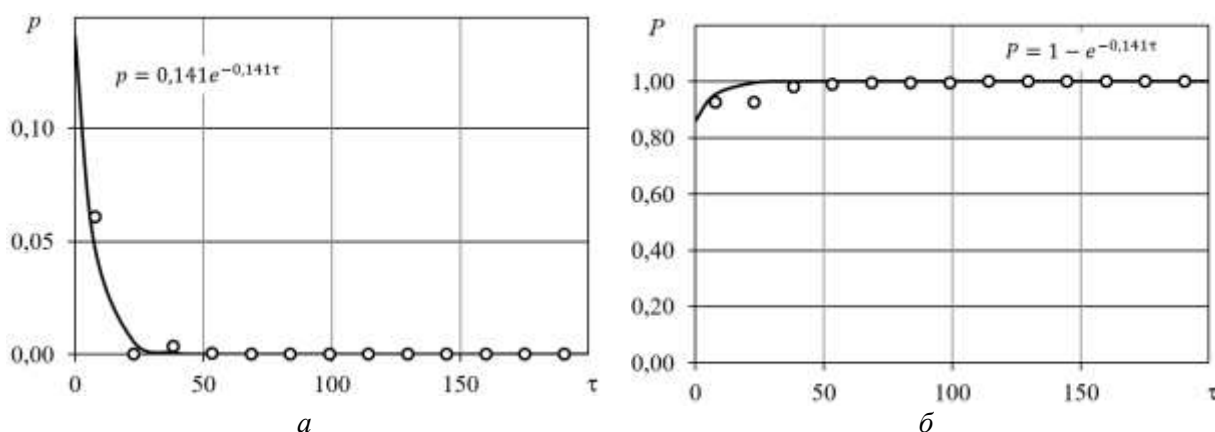


Рисунок 3 - Распределения эмпирических (о) и экспоненциальных (—) плотностей  $p$  вероятностей (а) и вероятностей  $P$  (б) распределения интервалов времени  $\tau$  между заездами автомобилей на парковку; октябрь (среда) 2023 года

### Обсуждение

Пиковые значения заполняемости парковочной территории (рис. 1) соответствуют времени начала и окончания учебных занятий. Наибольшие интенсивности выезда с придорожной парковки следуют с некоторым запозданием относительно пиковых значений интенсивности заезда (рис. 2) и согласуются с началом и окончанием учебных занятий.



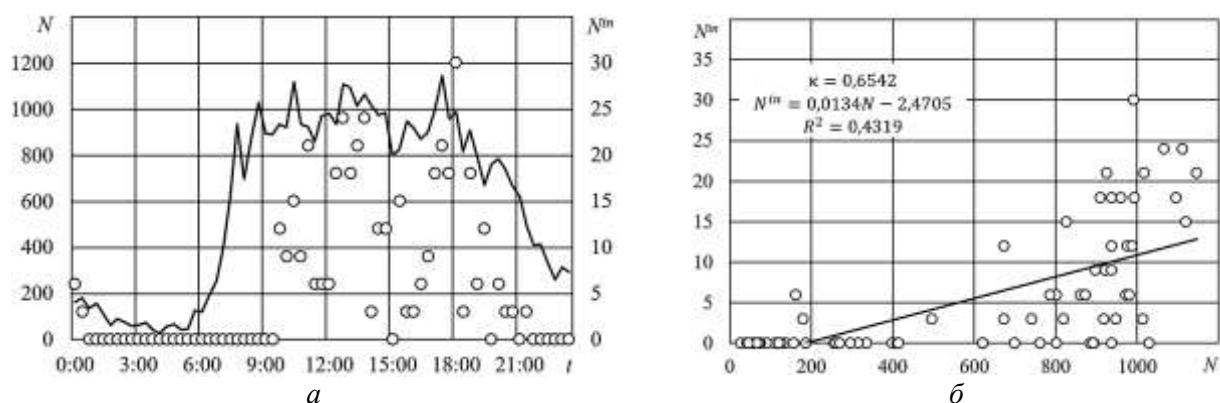


Рисунок 4 - Зависимости интенсивностей  $N$  (—, авт./час) транспортного потока на прилегающей дороге и  $N^{in}$  (маркеры "о", авт./час) интенсивности заезда автомобилей на придорожную парковочную территорию (а) от времени  $t$ ; зависимость  $N^{in}(N)$  и аппроксимация (—) этой зависимости линейной функцией; коэффициент корреляции  $k$  и показатель  $R^2$  детерминации (б); октябрь (среда) 2023 года

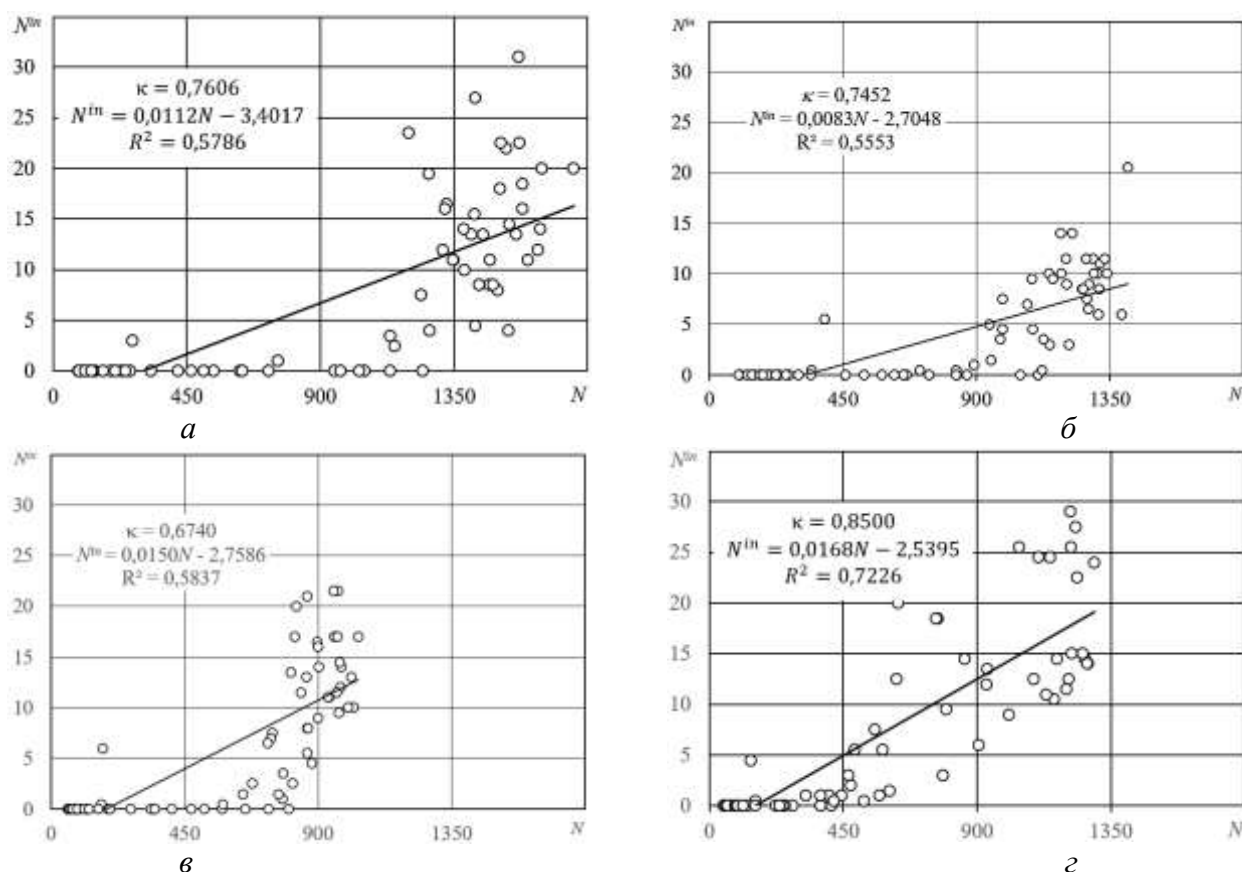


Рисунок 5 - Зависимости между интенсивностями  $N$  и  $N^{in}$  (маркеры «о», авт./час; осреднение с понедельника по субботу); аппроксимации зависимостей  $N^{in}(N)$  линейными функциями (—); коэффициенты корреляции  $k$  и показатели  $R^2$  детерминации; рабочие дни, а – весна, б – лето, в – осень 2023 года и з – зима 2024 года

Коэффициент корреляции (4) между интенсивностью  $N^{in}$  заезда автомобилей на прилегающую парковку и интенсивностью  $N$  транспортного потока на основной дороге (рис. 4) равен  $k = 0,6542$ . Это указывает на наличие функциональной зависимости между указанными интенсивностями.

Для конкретного рассмотренного дня (октябрь 2023 года) методом наименьших квадратов построена линейная аппроксимация  $N^{in} = -2,4705 + 0,0134N$  (рис. 4б) с показателем детерминации  $R^2 = 0,4319$ . Оказалось, что корреляционные коэффициенты интенсивностей  $N$

транспортных потоков и интенсивностей  $N^{in}$  заезда автомобилей на парковочное пространство (рис. 5) и  $N^{out}$  выезда с нее (рис. 6), осредненных с понедельника по субботу, превышают значения корреляционных коэффициентов, полученных в отдельные сутки наблюдения. Это свидетельствует о более тесной корреляционной связи осредненных значений интенсивностей  $N$  и  $N^{in}$ ,  $N$  и  $N^{out}$  в сравнении с суточными временными рядами тех же интенсивностей.

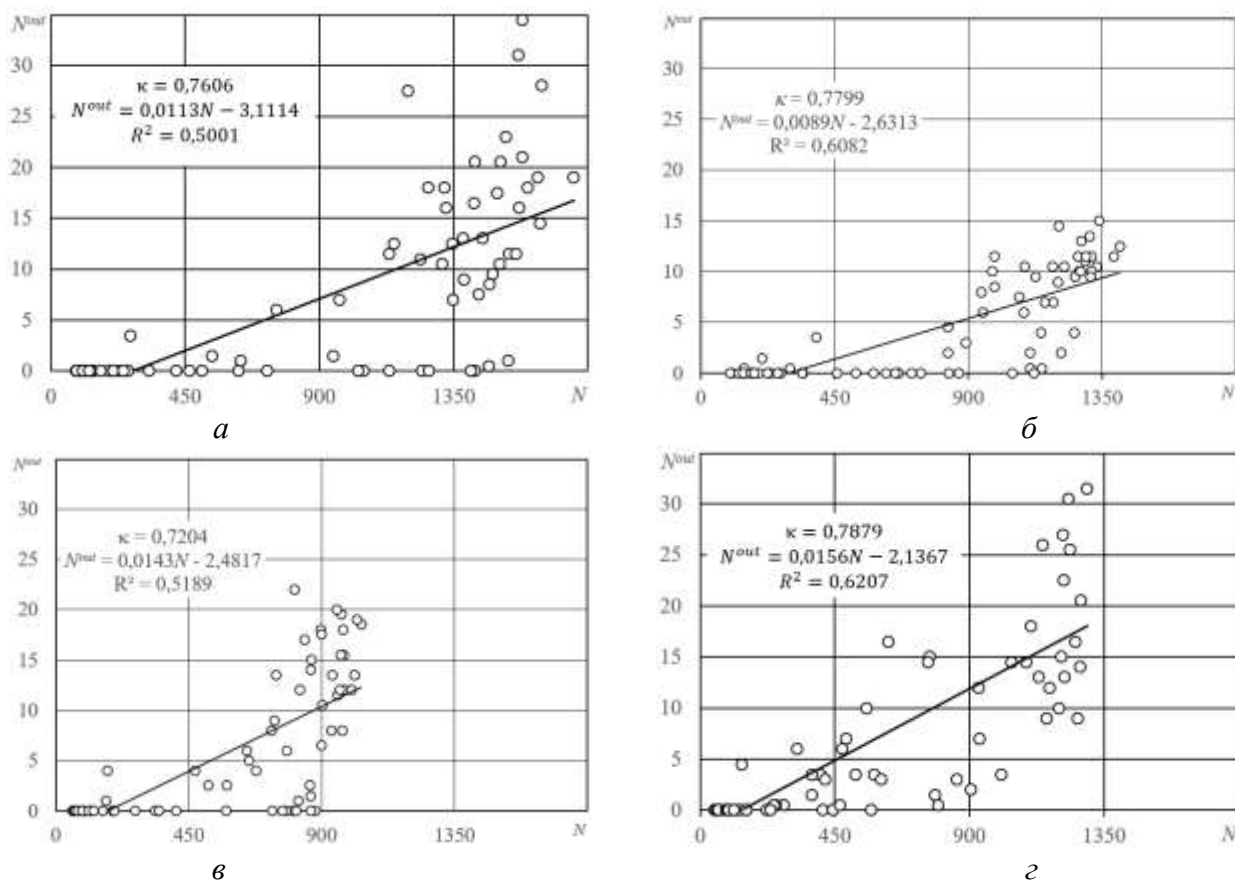


Рисунок 6 - Зависимости между интенсивностями  $N$  и  $N^{out}$  (маркеры "о", авт/час; осреднение с понедельника по субботу); аппроксимации зависимостей  $N^{out}(N)$  линейными функциями (—); коэффициенты корреляции  $\kappa$  и показатели  $R^2$  детерминации; рабочие дни, а – весна, б – лето, в – осень 2023 года и г – зима 2024 года

Следует также отметить, что корреляционные коэффициенты между интенсивностями  $N$  и  $N^{in}$ ,  $N$  и  $N^{out}$  оказались близкими по величине, что, по-видимому, отражает баланс количества автомобилей, въезжающих на парковку территорию и покидающих ее.

### Выводы

Выявлены основные характеристики функционирования придорожной парковки, построены зависимости заполняемости, интенсивности заезда автомобилей на парковочную территорию и выезда с нее от времени. Установлено, что эмпирические распределения плотности вероятностей и вероятности времени заездов автомобилей на придорожную парковку согласуются удовлетворительно с экспоненциальным (теоретическим) распределением. Заезды автомобилей на территорию парковки и выезды с нее можно приближенно считать подчиняющимися пуассоновскому процессу. Зафиксировано, что показатели парковочного пространства демонстрируют сезонные подъемы и спады, что необходимо учитывать при проектировании, размещении, планировании и организации парковочных городских территорий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щукин Ю.А., Бояршинов М.Г., Артеменко Д.В. Закономерности использования парковочного пространства // Транспорт Российской Федерации. 2023. №3-4 (106-107). С. 44-50.

2. Parmar J., Das P., Dave S.M. Study on demand and characteristics of parking system in urban areas. A review // Journal of Traffic and Transportation engineering. 2020. Vol. 7 (1). 124 P.
3. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Шумков А.Г. Использование комплекса фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения для выделения детерминированной и стохастической составляющих интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2021. №3. С. 61-71. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.
4. Farley A., Ham H., Hendra. Real Time IP Camera Parking Occupancy Detection using Deep Learning // Procedia Computer Science. 2021. Vol. 179. P. 606-614.
5. Ding X., Yang R. Vehicle and Parking Space Detection Based on Improved YOLO Network Model // Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1325. 012084. 7 p. DOI: 10.1088/1742-6596/1325/1/012084.
6. D.-L. Nguyen [et al]. YOLO5PKLot: A Parking Lot Detection Network Based on Improved YOLOv5 for Smart Parking Management System // Conference IW-FCV 2023, Yeosu, South Korea. 2023.
7. Gomari S., Knoth C., Antoniou C. Cluster analysis of parking behaviour: A case study in Munich // Transportation Research Procedia. 2021. Vol 52. P. 485-492.
8. Shoup D. Pricing curb parking // Transportation Research. Part A. 2021. Vol. 154. P. 399-412. DOI: doi.org/10.1016/j.tra.2021.04.012.
9. Антипова А.Н., Куманева А.В., Аксенов Д.В. Информационная модель формирования парковочного пространства в крупном городе // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. 2019. №2. С. 48-55.
10. Блюдин А. А. [и др.] Моделирование работы парковок // Современная техника и технологии. 2014. №12. 7 с.
11. Gao L. [et al]. Prediction of Vacant Parking Spaces in Multiple Parking Lots: A DWT-ConvGRU-BRC Model // Appl. Sci. 2023. Vol. 13. P. 3791. DOI: 10.3390/app13063791.
12. Попова И.М., Провидонов Е.В. Пути повышения пропускной способности улично-дорожной сети // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2015. Т. 35. С. 121-125.
13. Дуванова И.А., Симанкина Т.Л. Оптимизация организации парковочного пространства в условиях жилой застройки // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №2(41). С. 108-117.
14. Боровик Е.Н. Система перехватывающих стоянок в Москве: проблемы и перспективы // Архитектура и строительство Москвы. 2007. Т. 535. № 5. С. 7-10.
15. Fulman N., Benenson I. Establishing Heterogeneous Parking Prices for Uniform Parking Availability for Autonomous and Human-Driven Vehicles // IEEE Intelligent transportation systems magazine. 2019. Vol 11. №1. P. 15-28. DOI: 10.1109/MITS.2018.2879192.
16. Машкова Е.С., Поляков И.В. Цифровизация как способ повышения эффективности платного парковочного пространства на территории г. Москвы // Национальная Ассоциация Ученых. 2021. №66-3 (66). С. 45-48.
17. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1991. 384 с.

**Бояршинов Михаил Геннадьевич**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 614990, Россия, Пермь, Комсомольский пр., 29  
Д.т.н., профессор, профессор кафедры ATM  
E-mail: atm@pstu.ru

**Щукин Юрий Алексеевич**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 614990, Россия, Пермь, Комсомольский пр., 29  
Аспирант  
E-mail: cshukin-yura@mail.ru

---

M.G. BOYARSHINOV, Y.A. CSHUKIN

## **THE INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDOR AS AN OBJECT OF RESEARCH**

**Abstract.** The subject of the study is the patterns of parking space occupancy and the relationship between the intensity of traffic flow and the intensity of entry and exit of cars from the parking area, considering the time of year. The observations were carried out during separate weeks in spring (April), summer (July), autumn (October) and winter (February). The digital data was obtained using the Azi-

*math DT stationary complex, which monitors the movement of vehicles through the parking area. The results of the study can serve as a basis for the organization of traffic on the urban road network, in zoning and planning urban areas.*

**Keywords:** *parking area, occupancy of parking area, duration of parking*

## BIBLIOGRAPHY

1. Shchukin YU.A., Boyarshinov M.G., Artemenko D.V. Zakonomernosti ispol'zovaniya parkovochno go prostranstva // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2023. №3-4 (106-107). S. 44-50.
2. Parmar J., Das P., Dave S.M. Study on demand and characteristics of parking system in urban areas. A review // Journal of Traffic and Transportation engineering. 2020. Vol. 7 (1). 124 P.
3. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Shumkov A.G. Ispol'zovanie kompleksa fotovideofiksatsii naru-sheniy pravil dorozhnogo dvizheniya dlya vydeleniya determinirovannoy i stokhasticheskoy sostavlyayushchikh in-tensivnosti transportnogo potoka // Intellect. Innovatsii. Investitsii. 2021. №3. S. 61-71. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.
4. Farley A., Ham H., Hendra. Real Time IP Camera Parking Occupancy Detection using Deep Learning // Procedia Computer Science. 2021. Vol. 179. P. 606-614.
5. Ding X., Yang R. Vehicle and Parking Space Detection Based on Improved YOLO Network Model // Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1325. 012084. 7 p. DOI: 10.1088/1742-6596/1325/1/012084.
6. D.-L. Nguyen [et al]. YOLO5PKLot: A Parking Lot Detection Network Based on Improved YOLOv5 for Smart Parking Management System // Conference IW-FCV 2023, Yeosu, South Korea. 2023.
7. Gomari S., Knoth C., Antoniou C. Cluster analysis of parking behaviour: A case study in Munich // Transportation Research Procedia. 2021. Vol 52. P. 485-492.
8. Shoup D. Pricing curb parking // Transportation Research. Part A. 2021. Vol. 154. P. 399-412. DOI: doi.org/10.1016/j.tra.2021.04.012.
9. Antipova A.N., Kumaneva A.V., Aksenov D.V. Informatsionnaya model' formirovaniya parkovochno go prostranstva v krupnom gorode // Transport i mashinostroenie Zapadnoy Sibiri. 2019. №2. S. 48-55.
10. Blyudin A. A. [i dr.] Modelirovanie raboty parkovok // Sovremennaya tekhnika i tekhnologii. 2014. №12. 7 s.
11. Gao L. [et al]. Prediction of Vacant Parking Spaces in Multiple Parking Lots: A DWT-ConvGRU-BRC Model // Appl. Sci. 2023. Vol. 13. P. 3791. DOI: 10.3390/app13063791.
12. Popova I.M., Providonov E.V. Puti povysheniya propusknoy sposobnosti ulichno-dorozhnoy seti // Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal "Kontsept". 2015. T. 35. S. 121-125.
13. Duvanov I.A., Simankina T.L. Optimizatsiya organizatsii parkovochno go prostranstva v usloviyakh zhiloy zastroyki // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2016. №2(41). S. 108-117.
14. Borovik E.N. Sistema perekhvatyvayushchikh stoyanok v Moskve: problemy i perspektivy // Arkhitektura i stroitel'stvo Moskvyy. 2007. T. 535. № 5. S. 7-10.
15. Fulman N., Benenson I. Establishing Heterogeneous Parking Prices for Uniform Parking Availability for Autonomous and Human-Driven Vehicles // IEEE Intelligent transportation systems magazine. 2019. Vol 11. №1. P. 15-28. DOI: 10.1109/MITS.2018.2879192.
16. Mashkova E.S., Polyakov I.V. Tsifrovizatsiya kak sposob povysheniya effektivnosti platnogo parkovochno go prostranstva na territorii g. Moskvyy // Natsional'naya Assotsiatsiya Uchenykh. 2021. №66-3 (66). S. 45-48.
17. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya. M.: Nauka, 1991. 384 s.

### **Boyarshinov Mikhail Gennadievich**

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky Ave., 29  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: atm@pstu.ru

### **Cshukin Yuri Alekseevich**

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky Ave., 29  
Postgraduate student  
E-mail: cshukin-yura@mail.ru

УДК 656.11

doi:10.33979/2073-7432-2025-3-3(90)-20-26

И.Н. ПУГАЧЕВ, Н.Г. ШЕШЕРА

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГНОЗА ТРАВМАТИЗМА ПРИ ДТП, С ЦЕЛЬЮ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

**Аннотация.** Транспортная сеть городских агломераций характеризуется высокой динамичностью автомобильных и пешеходных потоков. Для максимальной эффективности их разделяют во времени и в пространстве, в том числе с использованием ИТС. Тем не менее в процессе функционирования любого транспортного узла происходят сбои (ДТП, ремонтные работы, осложнение погодных условий и т.п.), из-за которых может быть парализована вся транспортная сеть. В таких случаях требуется оперативное реагирование и регулирование дорожного движения исходя из сложившейся обстановки. С этим успешно справляется ИТС и в работе представлен для данной системы модуль оценки травматизма при ДТП, что в свою очередь является инновационным подходом к повышению безопасности дорожного движения.

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, травматизм при ДТП, интеллектуальные транспортные системы

### Введение

Требования по обеспечению безопасности дорожного движения содержат комплекс мероприятий по оценке качества на всех стадиях жизненного цикла автомобильных дорог [1]. До ввода в эксплуатацию транспортные сооружения исследуются различными методиками, такими как Методика коэффициентов аварийности, Методика коэффициентов безопасности и т.п. Все они закреплены в ОДМ 218.4.005-2010, ОДМ 218.6.027-2017, ОДМ 218.6.009-2013, ОДМ 218.2.020-2012, ОДМ 218.6.011-2013 и эффективно используются [2-4].

Критерием оценки безопасности дорожного движения является не только общее количество ДТП, но и их тяжесть. После ввода транспортных сооружений в эксплуатацию учитываемые при проектировании и строительстве режимы движения значительно изменяются. Это происходит в результате реконструкции, плановых мероприятий по ограничению движения, изменению погодных условий и т.п. Требуется непрерывный анализ условий эксплуатации для контроля опасности участка, в том числе по степени тяжести [5]. На сегодняшний день это обеспечивается с использованием интеллектуальных транспортных систем (ИТС), которые вобрали в себя современные технологии по сбору, анализу и обработке данных на основе инфокоммуникационных технологий.

Системы мониторинга транспортных характеристик ИТС осуществляют непрерывный сбор данных, которые передаются в вычислительный центр для обобщения информации и определения стратегии оптимального управления дорожным движением. Прогнозируется аварийность и интенсивность транспортного потока [6]. Существуют примеры применения для этих целей нейросетевых технологий.

Для оптимального распределения транспортных потоков единый вычислительный центр на основе анализа полученных данных подает сигналы на объекты управления УДС исходя из сложившейся обстановки. При этом происходит перераспределение транспортной нагрузки таким образом, чтобы не создать опасность или затор на другом участке в следствии исключения их на текущем [7].

Решения об управлении дорожным движением принимаются вычислительным центром как на основе фактической транспортной обстановки, так и на основе прогноза. Последний в ИТС осуществляется за счет моделирования условий эксплуатации транспортных сооруже-

ний для контроля изменения интенсивности транспортных потоков и степени аварийности. Травматизм при этом не учитывается [8]. Существуют примеры участков УДС на которых при малой аварийности высокий удельный вес пострадавших на каждое происшествие [9]. Исходя из этого актуальность исследования закономерностей изменения тяжести последствий от ДТП обоснована, а так как цель работы направлена на анализ возникновения травматизма при ДТП на стадии эксплуатации, то для обработки большого массива непрерывно поступающих данных эффективнее всего реализация проекта в составе ИТС в качестве отдельного модуля, представляющего собой программный комплекс.

### Материал и методы

Исследовав труды отечественных и зарубежных специалистов, занимавшихся моделированием транспортных процессов с использованием методов искусственного интеллекта, приводящих к гибели и ранению людей в результате ДТП был сделан вывод, что метод глубокого обучения (нейронные сети) не эффективны для анализа большого количества разнородных данных [10]. Лучшие результаты демонстрировал ансамблевый метод, случайного леса. Исследователи Донченко Д.С., Садовникова Н.П., Парыгины Д.С. обучили модель на определенных данных системы ВАДС для прогноза пострадавших в результате ДТП. Точность, которую им удалось добиться составила 87 %. Для обучения использовали регрессию [11].

В целях повышения точности прогноза в рамках существующего метода было принято решение о расширении перечня признаков и переходе к иному алгоритму анализа данных – методу классификации. Это позволит достичь более высокой степени детализации результатов. В качестве целевой переменной были выделены три класса: 0 – отсутствие пострадавших, 1 – наличие пострадавших, 2 – наличие погибших [12].

### Теория / Расчет

Собранные данные были интегрированы в базу, содержащую информацию о дорожно-транспортных происшествиях и погодных условиях в г. Хабаровске за период с 2016 по 2024 год. Объем выборки превысил 75 тысяч наблюдений [13]. Включенные признаки охватывали как потенциально значимые для прогнозирования травматизма, так и второстепенные, необходимые для корректной подготовки данных.

На основе анализа существующих исследований были разработаны модули обучения и прогнозирования с использованием алгоритма случайного леса. Модель была обучена, блок-схемы алгоритмов представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Блок-схемы обучения и прогноза модели методом случайного леса

Формирование случайного леса из  $N$  деревьев  $b_n$  ( $n = 1, \dots, N$ ) осуществляется следующим образом:

– генерируется обучающая выборка  $x_n$  методом бутстрэпа (многократное случайное извлечение подвыборок из эмпирического распределения);

– по каждой выборке строится решающее дерево  $b_n$ :

1) на каждом этапе выбирается оптимальный признак для расщепления по заданному критерию;

2) процесс продолжается до тех пор, пока в листе не останется менее  $n_{min}$  объектов или не будет достигнута заданная глубина дерева;

3) при каждом расщеплении случайным образом выбирается  $m$  признаков из общего числа  $n$ , и оптимальное разделение осуществляется среди них.

Перед этапом обучения модели особое внимание было уделено процедурам предварительной обработки [14]. В рамках данного этапа реализован комплекс автоматизированных мероприятий, направленных на устранение пропусков в данных и минимизацию влияния субъективных ошибок, обусловленных человеческим фактором.

В процессе обучения модели алгоритмом случайного леса осуществлялся анализ обучающей выборки, на основе которого формировался ансамбль из 500 деревьев решений. Каждое дерево обучалось независимо на случайно сформированных подмножествах исходных данных с применением метода стохастического отбора признаков [15]. Полученные модели функционируют параллельно, обеспечивая коллективное принятие решений посредством агрегирования результатов классификации.

Для определения степени влияния независимых переменных на зависимую проведена оценка их важности при перестановке:

$$i_j = s - \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K s_{k,j}, \quad (1)$$

где  $s$  – эталонная оценка;

$k$  – повторение в  $1, \dots, K$ ;

$j$  – признак из колонки.

### Результаты

С применением предварительно разработанных алгоритмов машинного обучения, а также методов корреляционного анализа и последующего экспериментального отбора признаков, были выявлены ключевые характеристики, оказывающие влияние на возникновение травматизма в ДТП по формуле 1 (табл. 1).

Таблица 1 – Значимые признаки при оценке травматизма в ДТП

Коэффициент значимости	Независимая переменная
1	2
0.1658	максимальная обеспечиваемая скорость
0.0044	наличие пешеходного перехода в радиусе 50 м
0.0041	часть дня (день, ночь, вечерние и утренние сумерки)
0.0036	время суток
0.0036	стаж водителя
0.0032	ширина дороги
0.0032	продольный уклон
0.003	интенсивность движения
0.0025	тип транспортного средства
0.0019	атмосферное давление на уровне станции
0.0018	атмосферное давление на уровне моря
0,0017	температура воздуха
0,0016	относительная влажность
0,0014	температура почвы
0,0014	расстояние до автобусной остановки
0,0013	количество полос в прямом направлении

Окончание таблицы 1

1	2
0,0012	день недели
0,0012	расстояние до парковки
0,0011	дефицит насыщения
0,0011	температура точки росы
0,001	парциальное давление водяного пара
0,001	длина переходно-скоростной полосы для левого поворота
0,0007	наличие светофора
0,0007	тип пересечения
0,0006	длина переходно-скоростной полосы для правого поворота
0,0005	скорость ветра
0,0005	месяц
0,0004	видимость, код (VV)
0,0004	тип движения (1,2 стороннее)
0,0004	количество левых полос
0,0003	количество осадков

Обучена модель прогноза травматизма при ДТП с применением алгоритма машинного обучения (метода случайного леса). Результаты проверки точности показали accuracy = 97,  $R^2 = 0.82$ .

### Обсуждение

Построена матрица неточности, отражающая количество правильно и ошибочно угаданных классов (рис. 2).

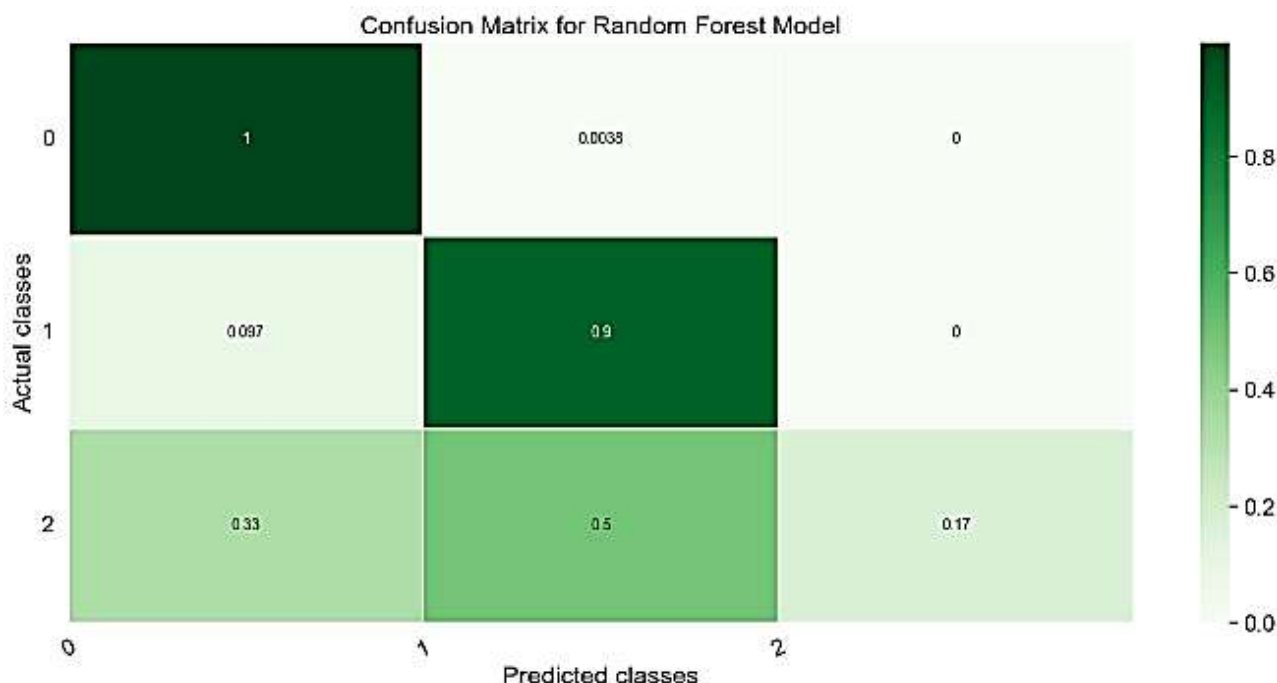


Рисунок 2 – Матрица неточностей при исследовании травматизма в результате ДТП (0 – не пострадали; 1 – пострадали; 2 – погибли)

Для проверки качества модели проведен ROC анализ. В данном классе площадь под характеристической кривой превысила значение 0,7, что говорит о хорошей классификации прогноза.

Проведены экспериментальные исследования на данных о 27 ДТП. Для чистоты эксперимента из параметров анализируемой выборки были исключены показатели травматизма. В результате предварительной обработки из 27 ДТП осталось 20, на которых проведен тестовый прогноз, остальные не имели необходимую структуру данных для анализа. Результаты прогноза сведены в таблицу 2.



Таблица 2 – Результаты прогноза травматизма в ДТП

№ наблюдения	Фактические данные	Результат прогноза	№ наблюдения	Фактические данные	Результат прогноза
1	с пострадавшими	с пострадавшими	11	без пострадавших	без пострадавших
2	без пострадавших	без пострадавших	12	с пострадавшими	с пострадавшими
3	без пострадавших	без пострадавших	13	без пострадавших	без пострадавших
4	без пострадавших	без пострадавших	14	без пострадавших	без пострадавших
5	без пострадавших	без пострадавших	15	с пострадавшими	с пострадавшими
6	с пострадавшими	с пострадавшими	16	с погибшими	с пострадавшими
7	с пострадавшими	с пострадавшими	17	погибли	погибли
8	без пострадавших	без пострадавших	18	без пострадавших	без пострадавших
9	без пострадавших	без пострадавших	19	без пострадавших	без пострадавших
10	с пострадавшими	с пострадавшими	20	с пострадавшими	с пострадавшими

Архитектура работы ИТС может быть представлена в виде модульного взаимодействия [16]. Каждый модуль представляет собой отдельный узел обработки данных, которые они получают из внешней среды или внутри системы. С учетом существующих технологий ИТС и особенностей работы метода прогноза травматизма на рисунке 3 схематично представлено место модуля прогноза травматизма в системе ИТС.

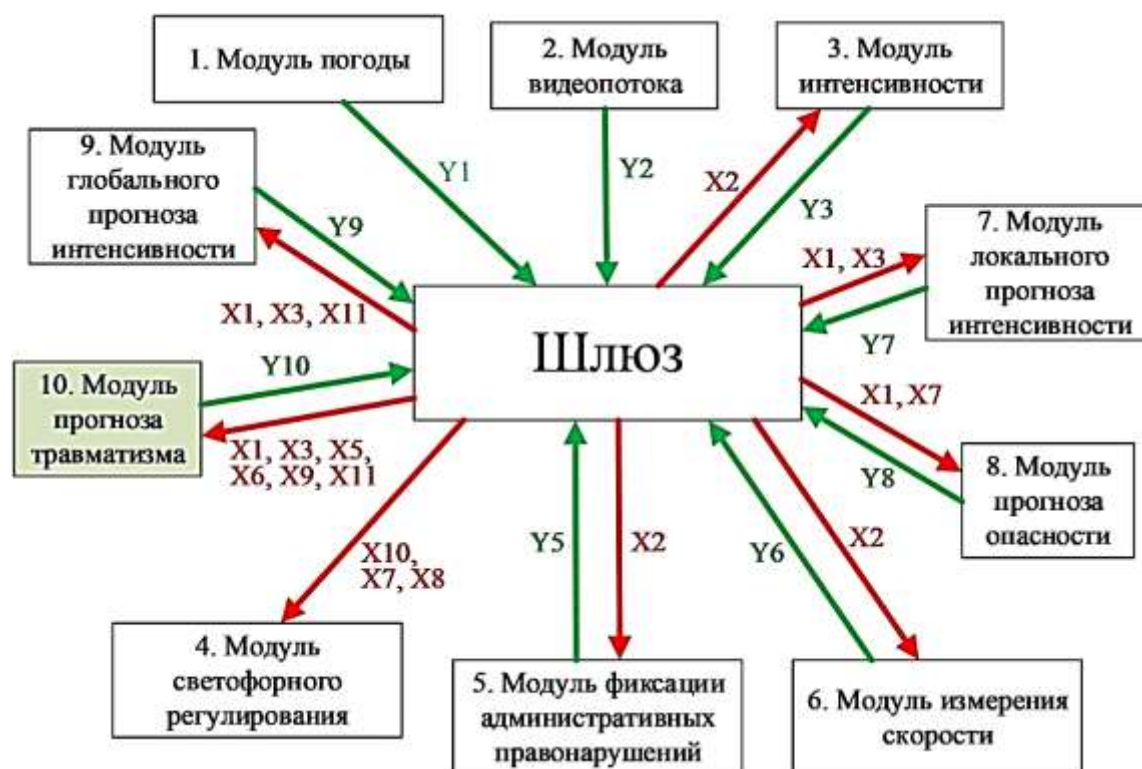


Рисунок 3 – Схема физического взаимодействия модулей ИТС  
(X11 – значения геометрических элементов дорог)

### Выводы

Особенностью обеспечения безопасности дорожного движения на стадии эксплуатации является эффективное распределение автомобильных и пешеходных потоков после анализа дорожной ситуации на основе непрерывно поступающих данных. Для этой цели было разработано множество программных комплексов в ИТС. Аккумулировав опыт использования технологий искусственного интеллекта была разработана методика оценки травматизма при ДТП для программно-аппаратных комплексов. Прогностическая модель имеет высокую точность прогноза (97 %), что было подтверждено на тестовых данных. Разработаны реко-

мендации по внедрению метода прогноза травматизма при ДТП в архитектуру ИТС, которая представлена в виде модульного взаимодействия.

Описанные в работе решения качественно повлияют на безопасность дорожного движения и будут способствовать снижению уровня травматизма при ДТП.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пугачев И.Н., Скрипко П.Б., Шешера Н.Г. Программный подход к комплексному сбору и подготовки данных об интенсивности движения транспортных средств, погодных условий и естественной освещенности в часовых интервалах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. №10. С. 43-51.
2. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Определение эффективных широт интервалов влияния температурных режимов на интенсивность транспортного потока с использованием ранговой корреляции Спирмена // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18. №3. С. 34-40.
3. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г. Применение методики коэффициентов травматизма в целях контроля качества будущих и эксплуатируемых дорог // Качество и жизнь. 2016. №1(9). С. 58-61.
4. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Щеглов В.И. Анализ геометрических элементов дорог с помощью современных геоинформационных систем при оценке их аварийности // Вестник гражданских инженеров. 2021. №3(86). С. 127-133.
5. Пугачев И.Н., Евтюков С.С., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Прогноз интенсивности транспортного потока. Обучение с учителем. Метод случайных деревьев // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18. №4. С. 36-47.
6. Пугачев И.Н., Евтюков С.С., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Максимальная обеспечиваемая скорость как ключевой показатель травматизма при ДТП. Способы сбора, обработки и анализа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18. №6. С. 46-54.
7. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Прогноз травматизма при ДТП с использованием линейного графика и метода машинного обучения // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-1(86). С. 3-11.
8. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Исследование широт интервалов признаков для повышения эффективности прогноза интенсивности транспортного потока // Вестник СИБАДИ. 2024. №5-(21). С. 726-735.
9. Пугачев И.Н., Григоров Д.Е., Шешера Н.Г. Исследование безопасности дорожного движения с позиции информационной загрузки водителя // Техник транспорта 2024. Т. 5. Вып. 4. С. 423-429.
10. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Определение стадий контроля безопасности дорожного движения (проектирование, строительство и эксплуатация) для усовершенствованной методики коэффициентов аварийности // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2024. №2-(39). С. 54-60.
11. Донченко Д.С., Садовникова Н.П., Парыгин Д.С. Прогнозирование степени тяжести последствий ДТП с использованием методов машинного обучения // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2019. №13(4).
12. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Исследования интенсивности транспортного потока методом Deep learning // Мир транспорта. 2024. №22(2). С. 12-24.
13. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Использование инструментов современных библиотек Python по работе с географическими координатами для решения задач безопасности дорожного движения // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2024. №3(40). С. 60-66.
14. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Методология интеллектуального управления дорожным движением с учетом изменения погодных условий // Транспорт Урала. 2024. №4(83). С. 10-16.
15. Pugachev I., Kulikov Y., Markelov G., Sheshera N. Factor Analysis of Traffic Organization and Safety Systems // Organization and Traffic Safety Management in large cities: 12th International Conference. St. Petersburg. 2017. P. 529-535.
16. Pugachev I., Grigorov D., Sheshera N. Improving the methodology for determining injuries in road traffic accidents using machine learning – Random Tree Method // International scientific and practical conference «Smart cities and sustainable development of regions» (SMARTGREENS 2024): LLC Institute of Digital Economics and Law. 2024. P. 125-136.

#### **Пугачев Игорь Николаевич**

Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН)

Адрес: 680000, Россия, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, 54

Д.т.н., доцент, заместитель директора по научной работе ХФИЦ ДВО РАН

E-mail: ipugachev64@mail.ru

#### **Шешера Николай Геннадьевич**

Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС)

Адрес: 680021, Россия, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47

К.т.н., старший научный сотрудник

E-mail: kolyaka239@mail.ru

## USING ROAD ACCIDENT INJURY PREDICTION TO IMPROVE THE ARCHITECTURE OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN URBAN AGGLOMERATIONS

**Abstract.** The transport network of urban agglomerations is characterized by high dynamics of automobile and pedestrian flows. For maximum efficiency, they are separated by time and space, including using ITS. However, in the harmonious functioning of the transport hub, there are failures (accidents, repair work, complicated weather conditions, etc.), due to which the entire transport network can be paralyzed. In such cases, a prompt response and traffic control based on the current situation is required. ITS successfully copes with this and the work presents a module for assessing injuries in accidents developed for this system, which in turn is an innovative approach to improving road safety.

**Keywords:** road safety, injuries in accidents, intelligent transport systems

### BIBLIOGRAPHY

1. Pugachev I.N., Skripko P.B., Sheshera N.G. Programmy podkhod k kompleksnomu sboru i podgotovki dannykh ob intensivnosti dvizheniya transportnykh sredstv, pogodnykh usloviy i estestvennoy osveshchennosti v chasovykh intervalakh // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2023. T. 17. №10. S. 43-51.
2. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Opredelenie effektivnykh shirot intervalov vliyaniya temperaturnykh rezhimov na intensivnost' transportnogo potoka s ispol'zovaniem rangovoy korrelyatsii Spirmena // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2024. T. 18. №3. S. 34-40.
3. Pugachev I.N., Sheshera N.G. Primenenie metodiki koeffitsientov travmatizma v tselyakh kontrolya kachestva budushchikh i ekspluatiruemykh dorog // Kachestvo i zhizn'. 2016. №1(9). S. 58-61.
4. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Shcheglov V.I. Analiz geometricheskikh elementov dorog s pomoshch'yu so-vremennykh geoinformatsionnykh sistem pri otsenke ikh avariynosti // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2021. №3(86). S. 127-133.
5. Pugachev I.N., Evtyukov S.S., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Prognoz intensivnosti transportnogo potoka. Obuchenie s uchitelem. Metod sluchaynykh derev'eva // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2024. T. 18. №4. S. 36-47.
6. Pugachev I.N., Evtyukov S.S., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Maksimal'naya obespechivaemaya skorost' kak klyuchevoy pokazatel' travmatizma pri DTP. Sposoby sbora, obrabotki i analiza // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2024. T. 18. №6. S. 46-54.
7. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Prognoz travmatizma pri DTP s ispol'zovaniem lineynogo grafika i metoda mashinnogo obucheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-1(86). S. 3-11.
8. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Issledovanie shirot intervalov priznakov dlya povysheniya effektivnosti prognoza intensivnosti transportnogo potoka // Vestnik SIBADI. 2024. №5-(21). S. 726-735.
9. Pugachev I.N., Grigorov D.E., Sheshera N.G. Issledovanie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya s pozitsii informatsionnoy zagruzki voditelya // Tekhnika transporta 2024. T. 5. Vyp. 4. S. 423-429.
10. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Opredelenie stadiy kontrolya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya (proektirovanie, stroitel'stvo i ekspluatatsiya) dlya usovershenstvovannoy metodiki koeffitsientov avariynosti // Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona. 2024. №2-(39). S. 54-60.
11. Donchenko D.S., Sadovnikova N.P., Parygin D.S. Prognozirovanie stepeni tyazhesti posledstviy DTP s ispol'zovaniem metodov mashinnogo obucheniya // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2019. №13(4).
12. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Issledovaniya intensivnosti transportnogo potoka metodom Deep learning // Mir transporta. 2024. №22(2). S. 12-24.
13. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Ispol'zovanie instrumentov sovremennykh bibliotek Python po rabote s geograficheskimi koordinatami dlya resheniya zadach bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona. 2024. №3(40). S. 60-66.
14. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Metodologiya intellektual'nogo upravleniya dorozhnym dvizheniem s uchetom izmeneniya pogodnykh usloviy // Transport Urala. 2024. №4(83). S. 10-16.
15. Pugachev I., Kulikov Y., Markelov G., Sheshera N. Factor Analysis of Traffic Organization and Safety Systems // Organization and Traffic Safety Management in large cities: 12th International Conference. St. Petersburg. 2017. P. 529-535.
16. Pugachev I., Grigorov D., Sheshera N. Improving the methodology for determining injuries in road traffic accidents using machine learning - Random Tree Method // International scientific and practical conference "Smart cities and sustainable development of regions" (SMARTGREENS 2024): LLC Institute of Digital Economics and Law. 2024. P. 125-136.

#### Pugachev Igor Nikolaevich

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern  
Branch of the Russian Academy of Sciences  
Address: 680000, Russia, Khabarovsk, Dzerzhinsky st., 54  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: ipugachev64@mail.ru

#### Sheshera Nikolay Gennadyevich

Far Eastern State Transport University  
Address: 680021, Russia, Khabarovsk, Serysheva St., 47  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: kolyaka239@mail.ru

Я.Д. ГОНЧАРОВА, А.А. БЕЛЕХОВ

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ МОДУЛЕЙ И ТРЕБОВАНИЯ К МОБИЛЬНЫМ АЗС

***Аннотация.** В статье приведена классификация передвижных автозаправочных модулей, а также рассмотрены требования к мобильным АЗС. Описывается зарубежный опыт обеспечения безопасности и соответствия нормативным требованиям при транспортировке топлива.*

***Ключевые слова:** перевозка топлива, передвижные автозаправочные модули, мобильные автозаправочные станции, обучение водителей*

### **Введение**

Транспортировка топлива предполагает доставку нефтепродуктов от производственных площадок к конечному потребителю. Соблюдение требований, предъявляемых к транспортировке, обращению и хранению топлива снижает риск возникновения несчастных случаев, разливов и нанесения вреда окружающей среде.

Передвижные автозаправочные модули способны обеспечить удобство эксплуатации и обслуживания, а также экономию времени, предоставляя возможность заправки транспортных средств и техники в любое время и в любом месте.

Технологическая система передвижного модуля предназначена для заправки топливом транспортных средств (далее -ТС), а также самоходной техники и характеризуется надземным расположением резервуаров для хранения топлива. При этом доставка топлива осуществляется в этих же резервуарах или обеспечивается путем использования автоцистерн, перевозящих топливо.

На сегодняшний день подобные модули широко используются в различных сферах. Так, в населенных пунктах они используются для заправки ТС, принадлежащих гражданам, а также используемых в каршеринге. Помимо этого, они используются как стационарные автозаправочные станции, устанавливаемые в местах наличия спроса на топливо при отсутствии стационарных АЗС. Вне населенных пунктов передвижные автозаправочные модули могут использоваться для заправки сельскохозяйственной и других видов самоходной техники, в аэропортах и во многих других областях народного хозяйства. Одновременно с этим необходимо отметить возможность использования подобных модулей предприятиями, имеющими большой собственный автопарк, для обеспечения его топливом [1].

Ввиду широкой номенклатуры производимых и используемых на практике передвижных автозаправочных модулей, возникает острая необходимость в обеспечении безопасности при их использовании [2]. Одновременно с этим необходимо учитывать особенности их конструкции, а также сферу их применения, от которой будет зависеть необходимость их оснащения тем или иным оборудованием [3].

### **Материал и методы**

В качестве методологической основы данного исследования служит анализ зарубежного опыта в регулировании деятельности мобильных автозаправочных станций. Основная цель работы – изучение применяемых методов организации эксплуатации подобных сервисов, включающих в себя требования к оборудованию и уровню подготовки персонала [4].

### **Теория / Расчет**

Ввиду необходимости упорядочивания требований, предъявляемым к конструкции мобильных АЗС, целесообразно составить их классификацию. В качестве классификационных признаков могут быть рассмотрены особенности конструкции, наличие топливораздаточного оборудования, объем транспортируемого топлива, а также область применения и требования к обслуживающему персоналу [5].

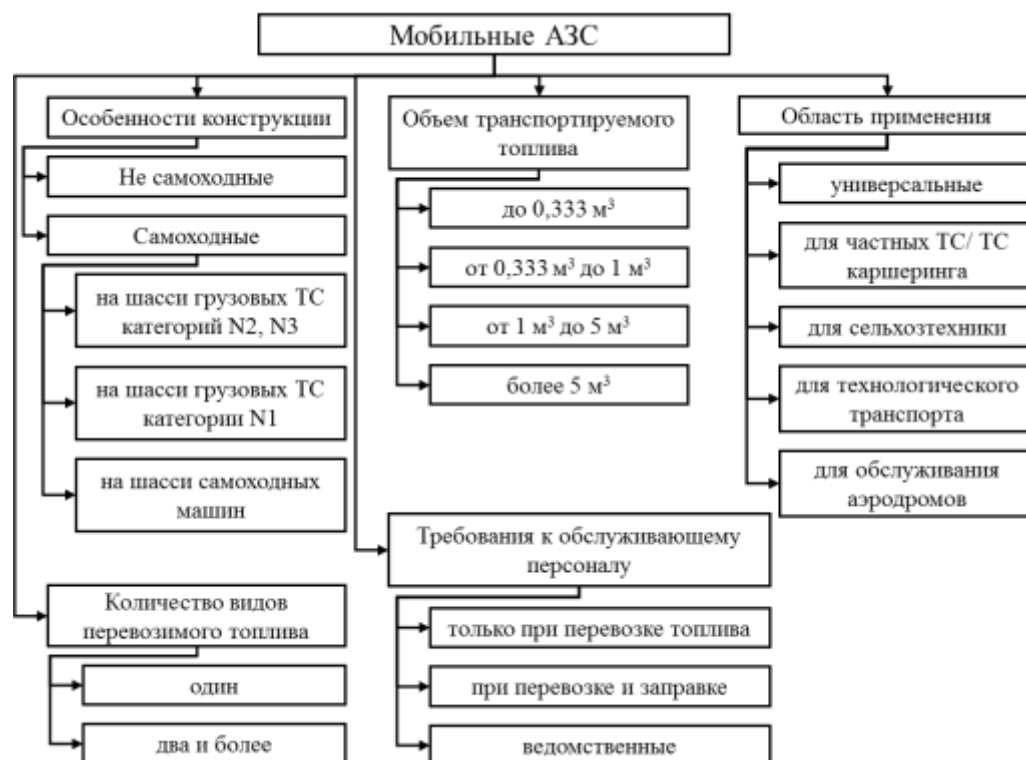


Рисунок 1 – Классификация мобильных АЗС

Приведенная классификация охватывает наибольшую часть мобильных АЗС и в дальнейшем может быть использована для составления требований к их конструкции, а также к процедуре заправки, в том числе автомобилей каршеринга [6, 7].

В зависимости от конструкции мобильных автозаправочных станций можно отметить их положительные и отрицательные стороны, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Положительные и отрицательные стороны мобильных АЗС

Наименование заправочного модуля	Плюсы	Минусы
1	3	4
Контейнерный	<ul style="list-style-type: none"> <li>- быстрый монтаж;</li> <li>- возможность эксплуатации в полевых условиях;</li> <li>- возможность эксплуатации в районах Крайнего Севера и сейсмоопасных районах;</li> <li>- возможна установка средств автоматики</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- необходимость в поддоне;</li> <li>- дополнительные требования к оборудованию</li> </ul>
Модульный	<ul style="list-style-type: none"> <li>- компактность;</li> <li>- быстрая сборка;</li> <li>- высокий уровень безопасности (двухстенные резервуары)</li> <li>- изготавливаются как в одноемкостном, так и двухемкостном исполнении</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- необходимость в большей территории для разнесения площадки с топливораздаточной колонкой и резервуара;</li> <li>- отсутствие жёсткого каркаса;</li> <li>- необходимость подключения к стационарной электрической сети</li> </ul>
Мобильный	<ul style="list-style-type: none"> <li>- высокая маневренность;</li> <li>- небольшой вес оборудования;</li> <li>- отсутствует необходимость подключения к стационарной электрической сети;</li> <li>- возможность использования в условиях отдаления от инфраструктуры;</li> <li>- простота эксплуатации и обслуживания</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- малый объем хранимого топлива</li> </ul>

Конструкция контейнерного модуля выполнена на единой раме, с топливораздаточной колонкой в технологическом отсеке самого контейнера [8]. К одному из главных преимуществ относятся минимальные требования к монтажу, а также возможность заправки техники в полевых условиях (заправка сельскохозяйственной, строительной техники и др.) [9]. К минусам относятся требования к установке и оборудованию, а именно необходимость монтажа поддона, который рассчитан на случай разгерметизации и разлива запасов топлива, а также необходимость системы контроля герметичности межстенного пространства. Данные особенности приводят к удорожанию монтажных работ и затрудняют перенос АЗС на новое место.

Конструкция модульных АЗС подразумевает обособленное расположение топливного резервуара и раздаточного оборудования. К основным преимуществам относятся простота в их сборке, возможность индивидуально сконфигурировать под требования предприятия, а также возможность хранения и транспортировки двух различных видов топлива (при двухъемкостном исполнении) [10].

Мобильная АЗС представляет собой передвижной заправочный пункт, который используется в условиях отдаления от инфраструктуры. Основными пользователями таких автозаправочных станций являются каршеринговые сервисы, транспортные компании, а также сельскохозяйственные предприятия [11]. Простота использования, высокая маневренность позволяют обеспечить бесперебойную работу техники и транспорта в критических ситуациях.

Стоит рассмотреть и области применения мобильных автозаправочных станций.

Так модульные АЗС обширно применяются в области строительства (заправка строительной техники на удаленных объектах), сельского хозяйства (заправка сельхозтехники), промышленности (обеспечение топливом производственной техники и грузового транспорта) [12].

Контейнерные АЗС используются для обеспечения топливом сельскохозяйственной техники, горнодобывающей промышленности, а также в строительстве.

Мобильные АЗС обслуживают автомобили, мототехнику, спецтехнику.

Правила транспортировки топлива — это руководящие принципы, установленные на федеральном уровне для обеспечения безопасного перемещения опасных грузов, к которым, согласно Европейскому соглашению о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ), относится топливо [13].

В случае же, если мобильным автозаправщиком перевозится бензин в объемах, не превышающих 333 л, или дизельное топливо в объеме до 1000 л, то такая перевозка не является перевозкой опасных грузов, а значит, не требует наличия свидетельства о допуске транспортных средств к перевозке опасных грузов, а также наличия свидетельства о подготовке водителя к перевозке опасных грузов [14].

В США в соответствии со Сводом федеральных правил существуют следующие общие правила перевозки топлива [15]:

- допустимый объем перевозки дизельного топлива составляет не более 500 галлонов (1 892,71) за один раз;
- баки на агрегатах для транспортировки дизельного топлива должны быть стационарно закреплены на агрегате;
- в любой момент времени на транспортном средстве разрешается перевозить только одну безопасную канистру с дизельным топливом, и она должна быть защищена от повреждений во время транспортировки;
- несамоходные дизельные бензовозы, имеющие электрические части для выдачи топлива, должны быть оборудованы устройством пожаротушения;
- транспортные средства, перевозящие дизельное топливо, должны иметь не менее двух огнетушителей многоцелевого назначения;
- необходимо соблюдать дополнительные правила безопасности, если транспортное средство с дизельным топливом находится на расстоянии менее 12 дюймов (0,3 м) от троллейбусного провода, находящегося под напряжением.

Также обязательно наличие свидетельства о допуске к перевозке опасных грузов (HAZMAT) – специальное разрешение, добавляемое к водительскому удостоверению, выдаваемое после прохождения обучения по транспортировке опасных грузов с последующим итоговым тестированием. Обучение необходимо получить в течение 90 дней с момента приема на работу, а повторное обучение необходимо проходить каждые три года.

В свою очередь, перевозка топлива в объемах, не превышающих 56,31 л, не приравнивается к перевозке опасных грузов и не требует наличия свидетельства HAZMAT.

Для повышения безопасности Министерство сельского хозяйства США установило правила под названием «Правила использования опасных материалов» (HMR). Они распространяются на транспортировку опасных материалов между штатами, внутри штатов и за рубежом.

Требования, предъявляемые к перевозке топлива без одобрения HAZMAT:

- необходимо использовать герметичные контейнеры во время транспортировки;
- наличие документов, подтверждающих характеристики и классификацию перевозимого топлива;
- обязательное наличие маркировки и табличек для эффективного информирования об опасностях.

### **Результаты и обсуждение**

Для стандартизации технологических процессов, осуществляемых мобильными автозаправщиками, с целью минимизации рисков возникновения дорожно-транспортных и иных происшествий с участием таких заправщиков, а также с целью повышения эффективности их работы требуется разработать регламент выполнения заправочных операций с использованием мобильных автозаправщиков, учитывающий зарубежный опыт в данном направлении. Необходимо установить нормативные требования для обеспечения пожарной и экологической безопасности при эксплуатации мобильных АЗС.

Для разработки квалификационных требований к персоналу мобильных автозаправщиков требуется создать систему профессиональных стандартов с необходимыми компетенциями в области безопасной эксплуатации, работы с топливными резервуарами и раздаточным оборудованием, в том числе порядком действий при возникновении аварийных ситуаций с утечками топлива и пожарами. А также необходимо ввести обязательное прохождение профессионального обучения обслуживающего персонала, с целью формирования соответствующих теоретических и практических навыков работы с оборудованием мобильных АЗС.

### **Выводы**

Обеспечение безопасности транспортировки топлива с использованием мобильных АЗС включает в себя регламентацию транспортировки и процесса заправки топлива такими автозаправщиками, проведение регулярных осмотров используемого оборудования, а также регулярное обучение персонала. Соблюдение законодательных норм и стандартов безопасности позволит обеспечить безопасность людей и защитить окружающую среду.

**Статья публикуется по результатам выполнения гранта НПР СПбГАСУ 2025 года**

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Альтмаер Е.Э., Мягких И.Д., Назаров М.В. Мобильная автозаправочная станция // Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве: Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Ч. 2. Прокопьевск: Экибастуз. 2021. С. 122-125.
2. Кузьменок И.Н., Булавка Ю.А. Проблемы обеспечения безопасности при обращении с нефтепродуктами на автозаправочных станциях // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2021. №3. С. 86-91.
3. Лей В.А. Условия обеспечения безопасности на автозаправочных комплексах // Modern Science. 2021.

№ 2-2. С. 372-375.

4. Ильина И.Е., Юмаева А.А., Бахтеев Н.Р., Серова О.М. Проблемы подготовки водителей категории «В» и пути их решения // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №2(37). С. 117-122.

5. Мягких И.Д., Назаров М. В. Мобильная автозаправочная станция // Россия молодая: Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. 2021. С. 523331-523334.

6. Комиссарова С.В. Каршеринг как пример эскалации мобильности в современном обществе: правовые основы и особенности явления // Вестник Владимирского юридического института. 2020. №3(56). С. 85-91.

7. Бычков А.Д., Селедцов А.П., Радкевич К.И. Безопасность транспортных перевозок // Автомобильный транспорт: эксплуатация, сервис, подготовка кадров: Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 175-летию И.Я. Яковлева. Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева. 2023. С. 14-22.

8. Официальный сайт производителя контейнерных АЗС ЗАО «АлтайСпецИзделия» [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LYizp>.

9. Горбачев А.Н. Перспективы производства и применения мобильных автозаправочных комплексов // Динамика развития системы военного образования: Материалы V Международной научно-практической конференции. Омск: Омский государственный технический университет. 2023. С. 343-351.

10. Официальный сайт производителя емкостей, резервуаров, силосов и различных металлоконструкций ООО «ДМЗ» [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3LYj7A>.

11. Гончарова Я.Д., Белехов А.А. Особенности организации работы мобильных АЗС // Грузовик. 2024. №12. С. 54-56. DOI 10.36652/1684-1298-2024-12-54-56.

12. Мамедов А.М. Эффективность использования мобильного АЗС // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. №3-3. С. 62-65.

13. Квитчук А.С., Фомичев Д.С. К вопросу о состоянии перевозок опасных грузов автомобильным транспортом на современном этапе // Юридическая наука: история и современность. 2022. №8. С. 58-62.

14. Гончарова Я.Д. Обеспечение безопасности перевозки топлива мобильными АЗС // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-3(86). С. 22-27. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-22-27.

15. Свод федеральных правил США [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-I/subchapter-C/part-172/subpart-F/section-172.504>.

**Гончарова Яна Дмитриевна**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Аспирант

E-mail: [gyd2378@mail.ru](mailto:gyd2378@mail.ru)

**Белехов Александр Александрович**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

К.т.н., старший преподаватель

E-mail: [ibddgasu@gmail.com](mailto:ibddgasu@gmail.com)

---

I.D. GONCHAROVA, A.A. BELEKHOV

## **CLASSIFICATION OF MOBILE FUEL STATIONS AND REQUIREMENTS TO MOBILE FUEL STATIONS**

**Abstract.** The article provides a classification of mobile filling modules and considers the requirements for mobile gas stations. It describes foreign experience in ensuring safety and compliance with regulatory requirements during fuel transportation.

**Keywords:** fuel transportation, portable gas stations, mobile gas stations, driver training

*The article is published based on the results of the implementation of the grant of the Scientific and Practical Works of St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering in 2025.*



**BIBLIOGRAPHY**

1. Al'tmaer E.E., Myagkikh I.D., Nazarov M.V. Mobil'naya avtozapravochnaya stantsiya // Povyshenie kachestva obrazovaniya, sovremennye innovatsii v nauke i proizvodstve: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. CH. 2. Prokop`evsk: Ekibastuz. 2021. S. 122-125.
2. Kuz`menok I.N., Bulavka YU.A. Problemy obespecheniya bezopasnosti pri obrashchenii s nefteproduktami na avtozapravochnykh stantsiyakh // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki. 2021. №3. S. 86-91.
3. Ley V.A. Usloviya obespecheniya bezopasnosti na avtozapravochnykh kompleksakh // Modern Science. 2021. № 2-2. S. 372-375.
4. Il'ina I.E., YUmaeva A.A., Bakhteev N.R., Serova O.M. Problemy podgotovki voditeley kategorii "V" i puti ikh resheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2012. №2(37). S. 117-122.
5. Myagkikh I.D., Nazarov M. V. Mobil'naya avtozapravochnaya stantsiya // Rossiya molodaya: Sbornik materialov XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva. 2021. S. 523331-523334.
6. Komissarova S.V. Karshering kak primer eskalatsii mobil'nosti v sovremennom obshchestve: pravovye osnovy i osobennosti yavleniya // Vestnik Vladimirskogo yuridicheskogo instituta. 2020. №3(56). S. 85-91.
7. Bychkov A.D., Seledtsov A.P., Radkevich K.I. Bezopasnost' transportnykh perevozok // Avtomobil'nyy transport: ekspluatatsiya, servis, podgotovka kadrov: Sbornik nauchnykh statey po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 175-letiyu I.YA. YAKovleva. Cheloboksary: Chuvashskiy gosudarstvennyy pedagogicheskii universitet im. I.YA. YAKovleva. 2023. S. 14-22.
8. Ofitsial'nyy sayt proizvoditelya konteynernykh AZS ZAO "AltaySpetsIzdeliya" [Elektronnyy resurs]. URL: <https://clck.ru/3LYizp>.
9. Gorbachev A.N. Perspektivy proizvodstva i primeneniya mobil'nykh avtozapravochnykh kompleksov // Dinamika razvitiya sistemy voennogo obrazovaniya: Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. 2023. S. 343-351.
10. Ofitsial'nyy sayt proizvoditelya emkostey, rezervuarov, silosov i razlichnykh metallokonstruktsiy OOO "DMZ" [Elektronnyy resurs]. URL: <https://clck.ru/3LYj7A>.
11. Goncharova YA.D., Belekhev A.A. Osobennosti organizatsii raboty mobil'nykh AZS // Gruzovik. 2024. №12. S. 54-56. DOI 10.36652/1684-1298-2024-12-54-56.
12. Mamedov A.M. Effektivnost' ispol'zovaniya mobil'nogo AZS // Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki. 2019. №3-3. S. 62-65.
13. Kvitchuk A.S., Fomichev D.S. K voprosu o sostoyanii perevozok opasnykh грузов avtomobil'nyim transportom na sovremennom etape // YUridicheskaya nauka: istoriya i sovremennost'. 2022. №8. S. 58-62.
14. Goncharova YA.D. Obespechenie bezopasnosti perevozki topliva mobil'nymi AZS // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-3(86). S. 22-27. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-22-27.
15. Svod federal'nykh pravil SSHA [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-I/subchapter-C/part-172/subpart-F/section-172.504>.

**Goncharova Iana Dmitrievna**

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering  
Address: 190005, Russia, Saint Petersburg, 2nd Krasnoarmeiskaya str., 4  
Post-graduate student  
E-mail: gyd2378@mail.ru

**Belekhev Aleksandr Aleksandrovich**

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering  
Address: 190005, Russia, Saint Petersburg, 2nd Krasnoarmeiskaya str., 4  
Candidate of technical sciences  
E-mail: ibddgasu@gmail.com

С.С. САБУРОВ, М.Г. БОЯРШИНОВ

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КОРИДОР КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Аннотация.** Анализ отечественных и зарубежных публикаций, касающихся определения терминов для понятий, используемых при изучении международных транзитных систем, указывает на необходимость формирования единой трактовки базовых понятий, описывающих содержание, состав и структуру транспортных коридоров как составной части глобальной транспортной системы, основная цель которой – перевозка пассажиров и перемещение грузов. Изучение мнений множества исследователей позволило сформулировать авторское понимание основных терминов и понятий проблемы международного пассажирского и грузового транзита.

**Ключевые слова:** транспортная система, международный транспортный коридор, инфраструктура

### Введение

Часть глобальной транспортной системы принято обозначать как международный транспортный коридор (далее – МТК), поэтому первоначально необходимо определиться с терминологическим содержанием понятия «транспортная система». Изучение публикаций как отечественных, так и зарубежных авторов показывает, что существует множество определений этого понятия, которые различаются между собой и интерпретируются авторами согласно целям и задачам проводимых исследований в соответствии с индивидуальными представлениями о предмете изучения:

- «совокупность транспортной инфраструктуры, транспортных предприятий, транспортных средств и управления» [1];
- «сложная система, включающая магистральную сеть и сооружения, подвижной состав, депо, гаражи, парки и ремонтную базу, а также управление, кадровый ресурс, обслуживающий всю транспортную систему» [2];
- «связанная в целое совокупность работников, транспортных средств и оборудования, элементов транспортной инфраструктуры и инфраструктуры субъектов перевозки, включая систему управления, направленную на эффективное перемещение грузов и пассажиров» [2, 4];
- и некоторые другие.

### Материал и методы

Для целей настоящего исследования принято:

«Транспортная система – совокупность инфраструктуры, ресурсов и методов управления ими, обеспечивающая перевозку пассажиров и транспортировку грузов» (рис. 1).

«Транспортная инфраструктура – совокупность линейных и точечных физических объектов, подвижного состава, нормативно-правовых, технологических, экономических и технических и институциональных отношений, осуществляющих перевозку пассажиров и перемещение грузов».

Объекты транспортной инфраструктуры (рис. 1):

- *линейные* включают автомобильные и железнодорожные магистрали, морские, речные и воздушные пути, трубопроводы и проч.;
- *точечные* предназначены для осуществления смены вида транспорта и/или транспортного средства, накопления и хранения груза, пересадки пассажиров, в том числе порты, транспортно-логистические и оптово-распределительные центры, железнодорожные станции, в том числе для смены колеи, транспортно-пересадочные узлы, пункты пропуска через государственную границу, шлюзы гидроузлов и проч.;

– подвижной состав включает автомобильный транспорт, железнодорожные составы, морские и речные суда, воздушные суда и прочие транспортные средства.

Обеспечивающая инфраструктура – сервисные и производственные предприятия, технические, технологические, экономические, финансовые, нормативно-правовые и институциональные отношения.

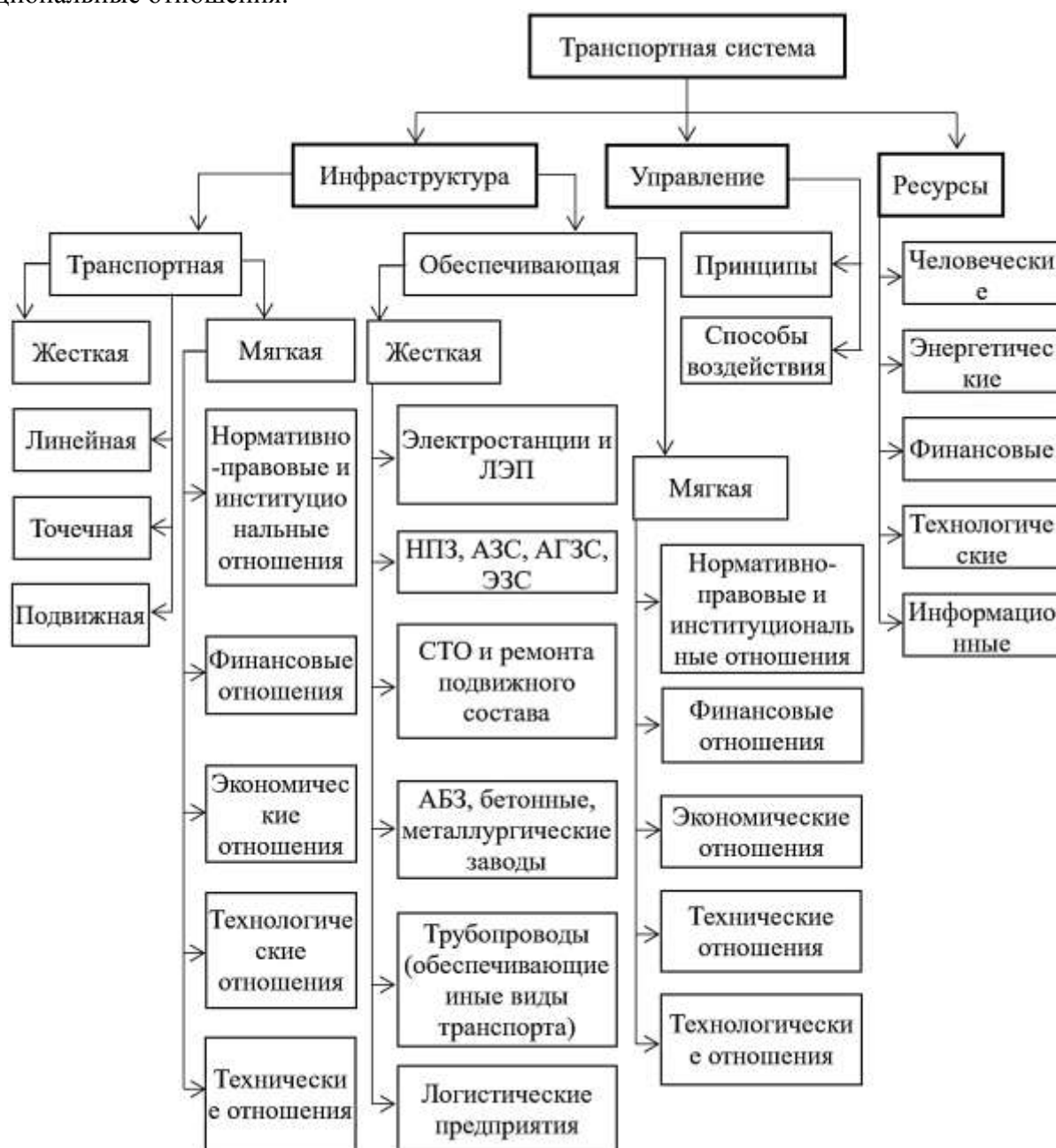


Рисунок 1 - Состав и структура транспортной системы по функциональному признаку:

ТЛЦ – транспортно-логистические центры, ОРЦ – оптово-распределительные центры, ТПУ – транспортно-пересадочные узлы, ЛЭП – линии электропередач, АЗС – автомобильные заправочные станции, АГЗС – автомобильные газовые заправочные станции, ЭЗС – электростанции, СТО – станции (предприятия) технического обслуживания, НПЗ – нефтеперерабатывающие заводы, АБЗ – асфальтобетонные заводы

Как в транспортной, так и в обеспечивающей инфраструктуре целесообразно выделить «жесткую» (*hard* – материальную, физическую) и «мягкую» (*soft* – нематериальную, виртуальную, институциональную) составляющие [5]:

жесткая инфраструктура включает материальные объекты, обеспечивающие перевозку пассажиров и транспортировку грузов, безопасность;

*мягкая инфраструктура* определяет финансовые, нормативно-правовые, цифровые, логистические, институциональные и прочие взаимоотношения.

*Управление* – принципы и способы воздействия на составляющие транспортной системы, обеспечивающих её оптимальное функционирование, или для изменения её состояния с целью достижения заданных параметров.

*Ресурсы* – совокупность субъектов, материальных и нематериальных объектов, используемых для функционирования инфраструктуры и управления.

### ***Теория***

В качестве *объекта исследования* выступают прогноз и пути развития МТК. *Предметом исследования* является научно-обоснованный подход к планированию развития инфраструктуры автотранспортного комплекса, а также закономерности влияния основных факторов инфраструктуры МТК на объемы грузоперевозок. *Целью исследования* является методология повышения эффективности мероприятий по повышению объема перевозок автомобильным транспортом по МТК с учетом совершенствования механизмов планирования развития инфраструктуры автотранспортного комплекса.

### ***Задачи исследования:***

1. Выполнение анализа отечественных и зарубежных публикаций для определения объекта и предмета исследования, постановки цели и задач, основных факторов роста объемов грузоперевозок по международным МТК, определение места исследования среди других работ.

2. Разработка методики планирования развития инфраструктуры и способа создания матриц корреспонденции «точка зарождения – точка погашения» грузопотоков на основе прогнозов социально-экономического развития Российской Федерации, целевых параметров для развития экономики и прогнозов внешнеэкономической деятельности Российской Федерации.

3. Разработка алгоритма установления соответствия между прогнозируемым грузопотоком и грузопотоком, определяемым на основе методов транспортного моделирования.

4. Выполнение расчета прогнозируемой загрузки участков автотранспортной инфраструктуры МТК и сопоставление результатов прогнозирования загрузки инфраструктуры с фактическими данными статистической отчетности для оценки погрешности моделирования.

5. Разработка и апробация методики планирования развития инфраструктуры МТК, обеспечивающей увеличение объема перевозок.

### ***Результаты***

Для объективного исследования закономерностей функционирования и развития МТК необходимо корректно определить понятие «международный транспортный коридор», которое является неотъемлемой составляющей понятия «транспортная система». В современной научной литературе отсутствует согласованная трактовка термина «международный транспортный коридор»:

- «совокупность виртуальной и физической инфраструктуры, которая создает связь между крупными транспортными узлами» [6, 7];

- «высокотехнологическая транспортная система, концентрирующаяся на генеральных направлениях транспорта общего пользования (железнодорожный, автомобильный, морской, трубопроводный) и телекоммуникациях» [8, 9];

- «совокупность магистральных транспортных инфраструктур, проходящих по территориям государств и обеспечивающих перевозки пассажиров и грузов в международном сообщении на направлениях их наибольшей концентрации, а также совокупность технологических и организационно-правовых условий осуществления этих перевозок» [10-13];

- «часть национальной или международной транспортной системы, обеспечивающей международные грузовые и пассажирские перевозки между отдельными географическими районами и включающей различные виды транспорта, с учетом стратегических грузо- и пассажиропотоков при развитой транспортной инфраструктуре международного класса с уни-

фицированными требованиями к технике, технологии, информации, правовым взаимоотношениям и прочему» [14-25];

- и другие.

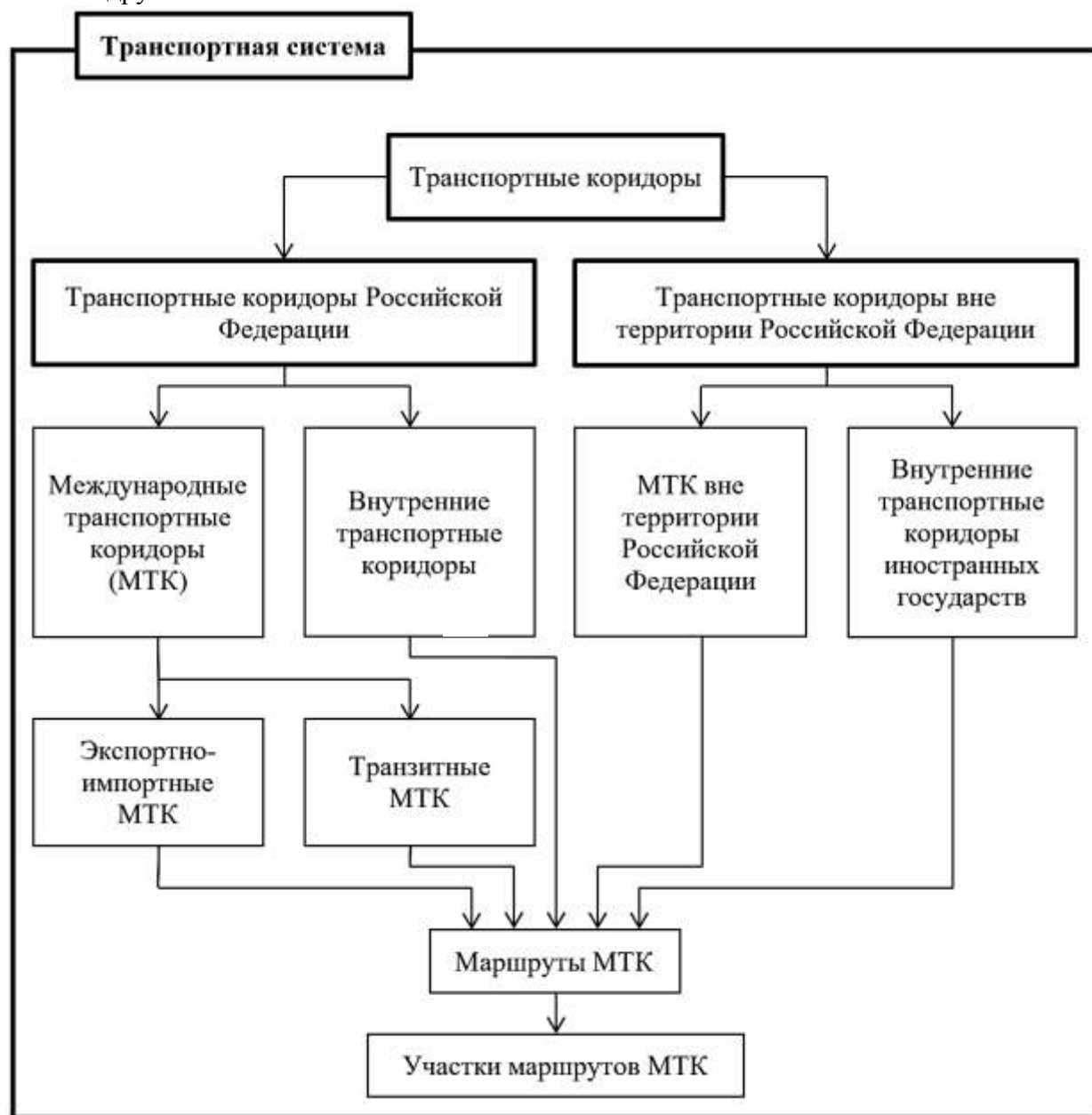


Рисунок 2 - Структурная схема транспортного коридора в составе транспортной системы

С учетом анализа публикаций отечественных и зарубежных авторов, множества рассмотренных определений МТК для целей настоящего исследования принимается определение: «международный транспортный коридор – совокупность инфраструктуры, ресурсов и методов управления ими, обеспечивающая международные грузовые и пассажирские перевозки, сгруппированная по признаку определенного направления и пересекающая одну или несколько государственных границ» (рис. 2).

### Обсуждение

Практическое решение стратегически важных задач формирования и развития МТК на территории Российской Федерации требует корректного определения ряда терминов для основных понятий, входящих в состав «международного транспортного коридора». Далее приведены определения терминов, использованных для схемы на рисунке 2 и необходимых

для изучения закономерностей функционирования МТК.

Таблица 1 - Определения терминов, использованных для схемы на рисунке 2 и необходимых для изучения закономерностей функционирования МТК

Термин	Определение
<i>Транспортный коридор</i>	часть транспортной системы, сгруппированной по признаку определенного направления.
<i>Внутренний транспортный коридор РФ</i>	транспортный коридор РФ, обеспечивающий грузовые и пассажирские перевозки во внутригосударственном сообщении, полностью проходящий по регионам РФ и не пересекающий государственную границу.
<i>МТК РФ</i>	транспортный коридор РФ, обеспечивающий международные перевозки пассажиров и грузов, частично проходящий по регионам РФ и пересекающий её государственную границу.
<i>МТК вне территории РФ</i>	транспортный коридор иностранного государства, не проходящий по территории Российской Федерации, обеспечивающий международные грузовые и пассажирские перевозки, проходящий по территории нескольких иностранных государств и пересекающий их государственные границы.
<i>Внутренний транспортный коридор вне территории РФ</i>	транспортный коридор зарубежного государства, обеспечивающий транзит пассажиров и грузов и проходящий по территории этого государства.
<i>Экспортно-импортный МТК РФ</i>	МТК, обеспечивающий перевозку пассажиров и транспортировку грузов в международном сообщении с назначением в Российскую Федерацию (из Российской Федерации) на определенном направлении, частично проходящий по территории и пересекающий государственную границу Российской Федерации.
<i>Провозная способность</i>	характеристика транспортной инфраструктуры, определяющая максимально возможный объем грузов в натуральных показателях, который может пройти через участок/объект транспортной инфраструктуры в единицу времени; измеряется в тоннах.
<i>Пропускная способность</i>	характеристика объекта транспортной инфраструктуры, определяющая наибольшее количество транспортных средств, которое может пройти через этот объект в единицу времени.

### Выводы

Анализ отечественных и зарубежных публикаций показал отсутствие единого мнения относительно терминологии, касающейся вопрос изучения закономерностей транспортной системы, транспортных коридоров, в том числе МТК. Это обусловлено сложностью предмета исследования, различным целеполаганием при изучении МТК, наличием множества факторов и показателей их функционирования, несогласованностью финансовых, нормативно-юридических, логистических и других отношений международного права. Авторами предложена собственная интерпретация состава, структуры и содержания понятий и терминов, необходимых для изучения базовых характеристик МТК.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Францев С.М. Общий курс транспорта. Пенза: ПГУАС, 2016. 188 с.
2. Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов. М.: АСВ, 2005. 272 с.
3. Пильгун Т.В., Осипова Ю.А. Транспортные системы: в 2 ч. Минск: БНТУ, 2023. Ч. 1: Инфраструктура грузовых перевозок. 87 с.
4. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем. СПб: СПбГАСУ, 2010. 214 с.
5. Нефедьев А.Д. Классификация видов инфраструктур // Проблемы экономики. 2011. №4. С. 37-44.

6. Albrechts L., Coppens T. Megacorridors: Striking a Balance Between the Space of Flows and the Space of Places // Journal of Transport Geography. 2003. №3. P. 215–224. DOI: 10.1016/S0966–6923(03)00032–2.
7. Бирюков П.Э. Международные транспортные коридоры в условиях формирования нового мироустройства // дис. ... канд. полит. наук. М.: ВО РАНХиГС. 2021. 181 с.
8. Крюкова Е.В. Концепция развития международного транспортного коридора "Север-Юг" // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2020. Т. 22. №2. С. 141–147.
9. Щепетов П.А. К вопросу о дефиниции концепта «международный транспортный коридор» // Экономические отношения. 2024. Т. 14. №4. 19 с. DOI 10.18334/eo.14.4.122379.
10. Кузнецова С. Путь на Восток: развитие евразийских транспортных коридоров. Аналитический доклад [Электронный ресурс]. URL: <https://202311-Доклад-ИПЕМ-Развитие-евразийских-транспортных-коридоров.pdf>.
11. Чумляков К.С., Чумлякова Д.В. Теоретические подходы к определению содержания понятия «международный транспортный коридор» // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. №10. С. 492–496.
12. Липатов А.Г. Система международных транспортных коридоров, современное состояние и перспективы развития // Modern Economy Success. 2022. №2. С. 31–37.
13. Шарова И.В., Голова Д.В. Международные транспортные коридоры и их влияние на экономическое развитие государств // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13. №4. С. 1153–1164.
14. Чернявская Е.М. Европейские международные транспортные коридоры в контексте экономических интересов РФ: дис. ... канд. эконом. наук. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2016. 190 с.
15. Коган М.В., Крюкова Е.В., Томашевская Ю.Н. Международные транспортные коридоры и логистические кластеры: учебно-методическое пособие. Астрахань: Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, 2024. 117 с.
16. Вардомский Л.Б., Тураева М.О. Развитие транспортных коридоров постсоветского пространства в условиях современных геополитических и экономических вызовов. М.: Институт экономики РАН, 2018. 66 с.
17. Шарова И.В., Голова Д.В. Международные транспортные коридоры и их влияние на экономическое развитие государств // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13. №4. С. 1153–1164. doi: 10.18334/epp.13.4.117486.
18. Винокуров Е.Ю., Джадралиев М.А., Щербанин Ю.А. Международные транспортные коридоры ЕвразЭС: быстрее, дешевле, больше // Евразийский банк развития. Отраслевой обзор. 2009. С. 9–44.
19. Подберезкина О.А. Эволюция значения МТК в мировой политике на примере России: дисс. ... канд. полит. наук. М. 2015. 164 с.
20. Квитко К.Б. Сравнительный анализ международных транспортных систем: инфраструктура, рейтинги, транспортные коридоры // Транспортные системы и технологии. 2020. Т. 6. №1. С. 15–29.
21. Мартынов Б.В. Применение нечёткой логики в маркетинговом управлении международным транспортным коридором // Интеллектуальные ресурсы - региональному развитию. 2019. Т. 5. №1. С. 245–249.
22. Замараева Е.Н., Хмельницкая З.Б. Повышение эффективности Российской экономики в контексте международных транспортных коридоров // Juvenis Scientia. 2019. №7. С. 14–17.
23. Ивуть Р.Б., Пильгун Т.В. Современные тенденции развития евроазиатских транспортных коридоров // Новости науки и технологий. 2019. №3 (50). С. 19–26.
24. Мартынов Б.В., Прокопенко Е.С. Интеграция региональной экономики в систему международного транспортного коридора как элемент национальной программы повышения производительности труда // Экономический рост: факторы эффективного развития. Пенза, 2017. С. 38–46.
25. Мартынов Б.В. Применение нечёткой логики в маркетинговом управлении международным транспортным коридором // Интеллектуальные ресурсы - региональному развитию. 2019. Т.5. №1. С. 245–249.

**Сабуров Сергей Сергеевич**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес: 614990, Россия, Пермь, Комсомольский пр., 29

Аспирант

E-mail: sssaburov@yandex.ru

**Бояршинов Михаил Геннадьевич**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес: 614990, Россия, Пермь, Комсомольский пр., 29

Д.т.н., профессор, профессор кафедры АТМ

E-mail: mgboyarshinov@pstu.ru

S.S. SABUROV, M.G. BOYARSHINOV

## THE INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDOR AS AN OBJECT OF RESEARCH

*Abstract. An analysis of domestic and foreign publications concerning the definition of terms used*

*in the study of international transit corridors has shown that researchers do not have a common understanding of the basic concepts content describing the composition and structure of international transit corridors for the transportation of passengers and cargo flows. An attempt is made to formulate the terms "transport system", "transport corridor", "hard infrastructure", "soft infrastructure" and some others.*

**Keywords:** *transport system, international transport corridor, infrastructure*

## BIBLIOGRAPHY

1. Frantsev S.M. Obshchiy kurs transporta. Penza: PGUAS, 2016. 188 s.
2. Safronov E.A. Transportnye sistemy gorodov i regionov. M.: ASV, 2005. 272 s.
3. Pil'gun T.V., Osipova YU.A. Transportnye sistemy: v 2 ch. Minsk: BNTU, 2023. CH. 1: Infrastruktura gruzovykh perevozk. 87 s.
4. Gorev A.E. Osnovy teorii transportnykh sistem. SPb: SPbGASU, 2010. 214 s.
5. Nefed'ev A.D. Klassifikatsiya vidov infrastruktur // Problemy ekonomiki. 2011. №4. S. 37-44.
6. Albrechts L., Coppens T. Megacorrors: Striking a Balance Between the Space of Flows and the Space of Places // Journal of Transport Geography. 2003. №3. P. 215-224. DOI: 10.1016/S0966-6923(03)00032-2.
7. Biryukov P.E. Mezhdunarodnye transportnye koridory v usloviyakh formirovaniya novogo miroustroystva // dis. ... kand. polit. nauk. M.: VO RANHiGS. 2021. 181 s.
8. Kryukova E.V. Kontseptsiya razvitiya mezhdunarodnogo transportnogo koridora "Sever-YUg" // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika. 2020. T. 22. №2. S. 141-147.
9. Shchepetov P.A. K voprosu o definitsii kontsepta "mezhdunarodnyy transportnyy koridor" // Ekonomicheskie otnosheniya. 2024. T. 14. №4. 19 s. DOI 10.18334/eo.14.4.122379.
10. Kuznetsova S. Put' na Vostok: razvitie evraziyskikh transportnykh koridorov. Analiticheskiy doklad [Elektronnyy resurs]. URL: <https://202311-Doklad-IPEM-Razvitie-evraziyskikh-transportnykh-koridorov.pdf>.
11. Chumlyakov K.S., Chumlyakova D.V. Teoreticheskie podkhody k opredeleniyu soderzhaniya ponyatiya "mezhdunarodnyy transportnyy koridor" // Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava. 2022. №10. S. 492-496.
12. Lipatov A.G. Sistema mezhdunarodnykh transportnykh koridorov, sovremennoe sostoyaniye i perspektivy razvitiya // Modern Economy Success. 2022. №2. S. 31-37.
13. Sharova I.V., Golova D.V. Mezhdunarodnye transportnye koridory i ikh vliyaniye na ekonomicheskoye razvitiye gosudarstv // Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo. 2023. T. 13. №4. S. 1153-1164.
14. Chernyavskaya E.M. Evropeyskie mezhdunarodnye transportnye koridory v kontekste ekonomicheskikh interesov RF: dis. ... kand. ekonom. nauk. SPb.: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet, 2016. 190 s.
15. Kogan M.V., Kryukova E.V., Tomashevskaya YU.N. Mezhdunarodnye transportnye koridory i logisticheskie klasteri: uchebno-metodicheskoye posobie. Astrakhan': Astrakhanskiy gosudarstvennyy universitet im. V.N. Tatishcheva, 2024. 117 s.
16. Vardomskiy L.B., Turaeva M.O. Razvitiye transportnykh koridorov postsovetnskogo prostranstva v usloviyakh sovremennykh geopoliticheskikh i ekonomicheskikh vyzovov. M.: Institut ekonomiki RAN, 2018. 66 s.
17. Sharova I.V., Golova D.V. Mezhdunarodnye transportnye koridory i ikh vliyaniye na ekonomicheskoye razvitiye gosudarstv // Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo. 2023. T. 13. №4. S. 1153-1164. doi: 10.18334/epp.13.4.117486.
18. Vinokurov E.YU., Dzhadraliev M.A., Shcherbanin YU.A. Mezhdunarodnye transportnye koridory EvrAzES: bystree, deshevle, bol'she // Evraziyskiy bank razvitiya. Otrasevoy obzor. 2009. S. 9-44.
19. Podberezkina O.A. Evolyutsiya znacheniya MTK v mirovoy politike na primere Rossii: diss. ... kand. polit. nauk. M. 2015. 164 s.
20. Kvitko K.B. Sravnitel'nyy analiz mezhdunarodnykh transportnykh sistem: infrastruktura, reytingi, transportnye koridory // Transportnye sistemy i tekhnologii. 2020. T. 6. №1. S. 15-29.
21. Martynov B.V. Primeneniye nechiotkoy logiki v marketingovom upravlenii mezhdunarodnym transportnym koridorom // Intellektual'nye resursy - regional'nomu razvitiyu. 2019. T. 5. №1. S. 245-249.
22. Zamaraeva E.N., Hmel'nitskaya Z.B. Povysheniye effektivnosti Rossiyskoy ekonomiki v kontekste mezhdunarodnykh transportnykh koridorov // Juvenis Scientia. 2019. №7. S. 14-17.
23. Ivut' R.B., Pil'gun T.V. Sovremennyye tendentsii razvitiya evroaziatskikh transportnykh koridorov // Novosti nauki i tekhnologii. 2019. №3 (50). S. 19-26.
24. Martynov B.V., Prokopenko E.S. Integratsiya regional'noy ekonomiki v sistemu mezhdunarodnogo transportnogo koridora kak element natsional'noy programmy povysheniya proizvoditel'nosti truda // Ekonomicheskiy rost: faktory effektivnogo razvitiya. Penza, 2017. S. 38-46.
25. Martynov B.V. Primeneniye nechiotkoy logiki v marketingovom upravlenii mezhdunarodnym transportnym koridorom // Intellektual'nye resursy - regional'nomu razvitiyu. 2019. T.5. №1. S. 245-249.

### Boyarshinov Mikhail Gennadievich

Perm National Research Polytechnic University  
Adress: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky Ave., 29  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: mgboyarshinov@pstu.ru

### Saburov Sergey Sergeevich

Perm National Research Polytechnic University  
Adress: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky Ave., 29  
Postgraduate student  
E-mail: sssaburov@yandex.ru



---

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК**

---

УДК 656.072

doi:10.33979/2073-7432-2025-3-3(90)-40-45

С.А. ЯРКОВ

**АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ОБЪЕМА ПЕРЕВОЗОК  
ПАССАЖИРОВ НА ЕДИНИЦУ ПРОБЕГА ГОРОДСКИХ  
МАРШРУТНЫХ АВТОБУСОВ**

**Аннотация.** Цель исследования направлена на разработку показателя для анализа эффективности использования городских маршрутных автобусов с учетом их производительных и нулевых пробегов. Разработанный показатель обладает важными свойствами: простотой расчета, информативностью, сравнимостью с себестоимостью транспортной услуги при фиксированном тарифе на проезд пассажира по городу, также возможен выход на фактическую стоимость провоза одного пассажира. Использование показателя возможно муниципалитетом и перевозчиками, а также в цифровых моделях и двойниках города.

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, пробег автобусов, эффективность маршрутов, транспортная аналитика, городская мобильность

**Введение**

В настоящее время происходит активное развитие цифровых моделей, цифровых двойников организаций [1] и цифровых двойников городов [2]. Поэтому для принятия эффективных решений в современной системе городского маршрутного автобусного транспорта необходимо иметь информативную систему показателей [3].

Одним из эффективных решений повышения эффективности эксплуатации городских маршрутных автобусов являются переключения с маршрута на другой маршрут (часть пути маршрута) в течении суток. Это решение реализуется для части графиков движения что требует от организатора перевозок точной настройки и согласованности расписаний и графиков движения автобусов, а от водителей автобусов опыта работы по нескольким обслуживаемым маршрутам. В процессе осуществления анализа применения таких научно-практических решений для повышения эффективности функционирования городского маршрутного автобусного транспорта и рационализации городской маршрутной сети в г. Тобольске, у автора появилась задача о необходимости разработки и использования показателя, который бы соответствовал следующим требованиям:

- простота получения данных и расчета;
- должен относиться к маршруту, для рассмотрения возможности рационализации маршрутной сети [4];
- должен быть удельным для возможности сравнения [5];
- должен способствовать сбалансированности структуры регулярных автобусных маршрутов [6].
- должен отражать количество перевезенных пассажиров на маршруте с выходом на окупаемость при существующей организованности тарифно-льготной политики [7];
- должен отражать показатели расстояний (пробег автобусов на маршруте) [8];
- должен быть сопоставим с показателем себестоимости перевозок [9];
- должен отражать нулевой пробег автобусов до точки начала работы на маршруте (так как его неизбежно необходимо выполнить для работы на маршруте, а в АО «Тобольское ПАТП» имеют место переключения с маршрута на маршрут в продолжении суток которые нужно учесть).

Однозначно подходящего показателя, который бы информативно описывал этот процесс для понимания заказчиком перевозок обнаружено не было. Одним из показателей, который, по опыту автора настоящей статьи, заслуживал внимания показатель объема перевозок на единицу пробега городских маршрутных автобусов.

### Материал и методы

Данные для исследования получены в АО «Тобольское ПАТП» (<https://tpatp.ru/>), которое является организатором перевозок и единственным перевозчиком в г. Тобольске.

В качестве основы исследования используется системный подход и классическая технология организации пассажирских автомобильных перевозок [10], с учетом развития и совершенствования маршрутных транспортных систем [11].

Показатель объема перевозок на единицу пробега городских маршрутных автобусов, получается отношением количества перевезённых пассажиров к пробегу автобусов на маршруте. В практическом применении такой показатель известен как «объем перевозок на единицу пробега». Этот показатель характеризует эффективность использования маршрута с точки зрения наполняемости и использования транспортного средства [12]. Он позволяет оценить, насколько эффективно используется каждый километр пробега автобуса для перевозки пассажиров, выражение (1).

$$Q_l^{i,уд} = \frac{Q_{сут}^i}{L_m^i}, \quad (1)$$

где  $Q_l^{i,уд}$  – объем перевозок на единицу пробега на  $i$ -том маршруте, пасс./км;  
 $Q_{сут}^i$  – суточный объем перевозок на  $i$ -том маршруте, пасс.;  
 $L_m^i$  – суточный пробег на  $i$ -том маршруте, км.

В настоящем исследовании показатель усовершенствован тем, что учитывает нулевые пробеги и пробеги на переключение автобусов на другие маршруты. Он позволяет оценить, насколько эффективно используется каждый километр пробега автобуса для перевозки пассажиров, выражение (2).

$$Q_{лобщ}^{ij,уд} = \frac{Q_{сут}^i + \Delta Q_{сут}^j}{L_m^i + L_{пер}^j + L_0^{ij}}, \quad (2)$$

где  $Q_{лобщ}^{ij,уд}$  – объем перевозок на единицу общего пробега (с учетом нулевых пробегов) на  $i$ -том маршруте, пасс./км;  
 $\Delta Q_{сут}^j$  – дополнительный объем перевозок на единицу общего пробега (с учетом нулевых пробегов) при переключении на маршрут  $j$ , пасс./км;  
 $L_{пер}^j$  – суточный пробег при переключениях на другой маршрут, км;  
 $L_0^{ij}$  – суточный пробег на  $i$ -том и  $j$ -том маршруте, км;

### Теория / Расчет

В классической теории пассажирских перевозок учет движения городских автобусов осуществляется строго по маршрутам. Для реализации такого учета в практической деятельности перевозчика, с учетом переключений автобусов на другие маршруты, учет движения по маршрутам необходимо осуществлять по фрагментам графиков работы на учитываемом автобусном маршруте.

В связи с вышесказанным, совершенствование процесса перевозки может осуществляться путем оценки показателем  $Q_{лобщ}^{ij,уд}$  каждого фрагмента графика на конкретном маршруте за выбранный период времени, например за сутки (целесообразно автоматизировать этот процесс).

Высокое значение показателя объема перевозок на единицу пробега городских маршрутных автобусов может указывать на то, что маршрут хорошо спланирован, и автобусы используются эффективно, перевозя большое количество пассажиров при относительно небольшом пробеге. Низкое значение может свидетельствовать о недостаточной загрузке

маршрута или о том, что маршрут проходит через зоны с низким пассажиропотоком и необходимо его рационализировать.

Далее, для гарантированного функционирования автобусов перевозчиков, в условиях инфляционных процессов и дефицита кадров водителей [13], в качестве критериев повышения эффективности функционирования системы городского автобусного маршрутного транспорта (по результатам расчета показателя) можно принять следующие:

- максимизация объема перевозок платных (в том числе датируемых государством) пассажиров;
- минимизация (сокращение) рейсов с незначительно малой наполняемостью платных (в том числе датируемых государством) пассажиров;
- минимизация нулевых пробегов.

В математическом виде эти критерии можно записать следующим образом.

$$Q_{пл}^i \rightarrow \max, \quad (3)$$

где  $Q_{пл}^i$  – платные пассажиры, пасс.;

$i$  – номер маршрута.

$$Z_{qmin}^i \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $Z_{qmin}^i$  – количество рейсов с незначительно малой наполняемостью платных (в том числе датируемых государством) пассажиров, рейс.

$$L_0^i \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $L_0^i$  – нулевые пробеги, км.

Далее представлен вариант результатов определения показателя объема перевозок на единицу пробега городских маршрутных автобусов для буднего дня.

### Результаты и обсуждение

В исследовании рассмотрены маршруты 6П, 8К и 10А в г. Тобольске на которых реализованы переключения на другие маршруты, таблицы 1-2.

Таблица 1 – Пример данных о пробегах для городских маршрутных автобусов в г. Тобольске с переключениями на другие маршруты за сутки

Маршрут	Переключения на маршруты	Рейсы	Кол-во рейсов	Пробег, км	Пробег всего, км
6П	19, 125	Целые	82	12,4	1016,8
		Переключение 1	2	9,2	18,4
		Переключение 2	31	2,3	71,3
		Нулевой пробег 1	2	0,6	1,2
		Нулевой пробег 2	31	0,3	9,3
8К	4, 8, 104	Целые	93	6,7	623,1
		Переключение 1	7	3,4	23,8
		Переключение 2	9	2,8	25,2
		Переключение 3	15	2,9	43,5
		Нулевой пробег 1	7	1,1	7,7
		Нулевой пробег 2	9	1,1	9,9
10А	10	Целые	40	7,9	316,0
		Переключение 1	14	2,0	28,0
		Нулевой пробег 1	14	0,5	7,0

Таблица 2 – Объем перевозок пассажиров на единицу пробега

Маршрут	Объем перевозок, пасс	Пробег на маршрутах, км	Общий пробег, км	$Q_{l,км}^{i,уд}$ , пасс./км	$Q_{лобщ,км}^{ij,уд}$ , пасс./км
6П*	2770	1106,5	1117,7	2,50	2,48
8К*	2818	715,6	746,7	3,94	3,77
10А*	816	344,0	351	2,37	2,32

*\*данные для маршрута с учетом переключений автобусов на другие маршруты.*

Следует особо отметить, что все выполняемые переключения реализуются только в рамках действующего расписания движения, согласованного с органами исполнительной власти.

В РФ дотационный характер перевозок пассажиров городским маршрутным автобусным транспортом [14]. Для рационального использования бюджетных средств и рационального управления процессом транспортных услуг требуется сопоставление необходимых затрат и результатов [15] с выходом на стоимость провоза пассажира. Результаты соотношения объема перевозок на единицу пробега с себестоимостью на маршруте представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Стоимость провоза одного пассажира при фиксированном тарифе

Номер городского маршрута	Себестоимость 1 км пробега, руб./км	Объем перевозок на единицу пробега, пасс./км	Окупаемость из расчета оплаты проезда 25 руб. всеми пассажирами (без учета льготных пассажиров), %	Стоимость провоза одного пассажира на маршруте, руб.
6П*	122,06	2,48	51	49,22
8К*	135,26	3,77	70	35,88
10А*	125,76	2,32	46	54,21

*\* данные для маршрута с учетом переключений автобусов на другие маршруты.*

Окупаемость с учетом нулевых пробегов и с учетом переключений на другие маршруты на маршруте 8К составила 70 %, а на маршрутах 6П и 10А окупаемость меньше и составила 51 % и 46 % соответственно.

Использование комбинированных графиков с переключениями на другие маршруты:

- существенно увеличивает вариативность выбора вариантов при рационализации режимов труда и отдыха водителей;
- является резервом для увеличения провозной возможности маршрутного городского пассажирского общественного автобусного транспорта в периоды проведения массовых мероприятий в масштабах города;
- снижает время непроизводительных простоев автобусов с необходимостью выплаты заработной платы водителям за простой по вине предприятия;
- дает возможность осуществить дополнительную попутную загрузку по напряженным направлениям в утренние и (или) вечерние часы «пик»;
- позволяет оценить влияние тарифно-льготной политики;
- требует более ответственного учета и точности разнесения данных о результатах работы в зависимости от запроса;
- требует наличия опытного водительского состава;
- подразумевает повышенные требования к опыту специалиста и (или) автоматизации процесса переключения автобусов на маршруты в зависимости от условий с дружелюбным интерфейсом.

Значимость результатов работы заключается в уточнении существующих подходов к оценке эффективности городского маршрутного автобусного транспорта, также открываются новые возможности комплексных исследований в области урбанистики с учетом экономических аспектов.

### **Выводы**

Использование показателя объема перевозок на единицу пробега городских маршрутных автобусов, предложенного автором, поможет:

- перевозчику использовать его как информативный показатель-индикатор для рационализации графиков движения автобусов на маршрутах с учетом переключений на другие маршруты;
- организатору перевозок обосновать заказчику перевозок плановые и оперативные мероприятия по повышению эффективности эксплуатации городских маршрутных автобусов;

– заказчику перевозок принять обоснованные решения по повышению эффективности функционирования системы городского маршрутного автобусного транспорта при разумной экономии бюджета муниципалитета.

Показатель объема перевозок на единицу пробега городских маршрутных автобусов также может успешно применяться исследователями в цифровых моделях городов для:

- планирования объемов перевозок на маршрутах и размера необходимых дотаций;
- оптимизации маршрутов и расписаний движения автобусов на маршрутах;
- моделирования управленческих решений по совершенствованию транспортной системы города.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dorofeev A., Kurganov V., Filippova N. [et al.] Improving Transportation Management Systems (TMSs) Based on the Concept of Digital Twins of an Organization // Applied Sciences (Switzerland). 2024. Vol. 14. №4. P. 1330. DOI 10.3390/app14041330. EDN HEKLBV.
2. Шалина Д.С. Тихонов В.А., Степанова Н.Р. Развитие урбанизированных территорий с использованием цифровых двойников // Фундаментальные исследования. 2022. №2. С. 61-65. DOI 10.17513/fr.43203. EDN NABGZG.
3. Pascal I. Use of digital technologies in the development of cities in the conditions of the information economy: «Management 2.0» model. State and regions Series Economics and Business. 1. 2024. DOI:10.32782/1814-1161/2024-1-24.
4. Fadyushin A., Zakharov D., Karmanov D. Estimation of the change in the parameters of traffic in the organization of the bus lane // Transportation Research Procedia. 36. 2021. P. 166-172. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.059.
5. Аземша С.А. Янкович С.Ю. Оценка потенциала повышения окупаемости работы городского пассажирского транспорта ежедневным прогнозированием пассажиронапряженности // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2023. №2(48). С. 41-49. DOI 10.52928/2070-1616-2023-48-2-41-49. EDN KJIGBD.
6. Игнатукин В.А., Петров А.И. Сбалансированность транспортного обслуживания населения городов: основные подходы // Архитектура, строительство, транспорт. 2023. №2(104). С. 64-79. DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-64-78. EDN KTGWXC.
7. Петров А.И. Социологические аспекты среднесрочной динамики организованности перевозочного процесса на городских автобусных маршрутах Тюмени // Транспорт Урала. 2022. №2(73). С. 9-16. DOI 10.20291/1815-9400-2022-2-9-16. EDN SIAJMA.
8. Биков Д.И. Хамидуллин М.Р. Разработка и внедрение системы умного трекинга в режиме реального времени // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. №4. С. 7-17. DOI 10.12731/2227-930X-2020-4-7-17. EDN VPULUO.
9. Белокуров В.П., Панявина Е.А., Бусарин Э.Н., Кораблев Р.А. Экономические механизмы в эффективном управлении по совершенствованию организации пассажирских перевозок // Мир транспорта и технологических машин. 2025. №1-1(88). С. 29-35. DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-29-35.
10. Спирин И.В. Городские автобусные перевозки. Справочник. М. Транспорт. 1991. 238 с.
11. Петров А.И., Захаров Д.А. Транспортные системы городов мира: история развития, типология, характерные особенности. Тюмень: Тюменский индустриальный университет. 2022. 161 с. EDN JSNJLH.
12. Ярков С.А. Исследование вероятности выбора способов передвижения жителями в городе // Инженерный вестник Дона. 2023. №8(104). С. 698-706. EDN ZPJSGN.
13. Перова И.Т., Смирнова Е.В. Исследование востребованности профессий в целях эффективного обеспечения кадровыми ресурсами сферы городского транспорта // Актуальные вопросы современной экономики. 2023. №8. С. 148-163. EDN TCLIRW.
12. Фадюшин А.А. Влияние стоимости проезда в городском общественном транспорте на структуру подвижности населения // Вестник гражданских инженеров. 2021. №4(87). С. 143-148. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-143-148. EDN JWAENT.
15. Галабурда В.Г. Концепция управления качеством транспортного обслуживания // Наука и техника транспорта. 2003. №2. С. 49-60. EDN HVEYEL.

**Ярков Сергей Александрович**

Тюменский индустриальный университет

Адрес: 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38

К.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»

E-mail: jarkovsa@tyuiu.ru

S.A. IARKOV

## THE INDICATOR OF THE VOLUME OF PASSENGER TRANSPORTATION PER UNIT MILEAGE OF URBAN SHUTTLE BUSES

**Abstract.** *The research aims to develop an indicator for analyzing the efficiency of urban shuttle buses, taking into account their productive and unproductive runs. The developed indicator has important properties: simplicity of calculation, information content, comparability with the cost of transport services at a fixed fare for passenger travel around the city, and it is also possible to calculate the actual cost of transporting one passenger. The indicator can be used by the municipality and bus carriers, as well as in digital models and digital counterp*

**Keywords:** *passenger transportation, bus mileage, route efficiency, transport analytics, urban mobility*

### BIBLIOGRAPHY

1. Dorofeev A., Kurganov V., Filippova N. [et al.] Improving Transportation Management Systems (TMSs) Based on the Concept of Digital Twins of an Organization // Applied Sciences (Switzerland). 2024. Vol. 14. №4. P. 1330. DOI 10.3390/app14041330. EDN HEKLBU.
2. Shalina D.S. Tikhonov V.A., Stepanova N.R. Razvitie urbanizirovannykh territoriy s ispol'zovaniem tsifrovyykh dvoynikov // Fundamental'nye issledovaniya. 2022. №2. S. 61-65. DOI 10.17513/fr.43203. EDN NABGZG.
3. Paschal I. Use of digital technologies in the development of cities in the conditions of the information economy: "Management 2.0" model. State and regions Series Economics and Business. 1. 2024. DOI:10.32782/1814-1161/2024-1-24.
4. Fadyushin A., Zakharov D., Karmanov D. Estimation of the change in the parameters of traffic in the organization of the bus lane // Transportation Research Procedia. 36. 2021. R. 166-172. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.059.
5. Azemsha S.A. Yankovich S.YU. Otsenka potentsiala povysheniya okupaemosti raboty gorodskogo passazhirskogo transporta ezhednevnyy prognozirovaniem passazhironapryazhennosti // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki. 2023. №2(48). S. 41-49. DOI 10.52928/2070-1616-2023-48-2-41-49. EDN KJIGBD.
6. Ignatyugin V.A., Petrov A.I. Sbalansirovannost' transportnogo obsluzhivaniya naseleniya gorodov: osnovnye podkhody // Arkhitektura, stroitel'stvo, transport. 2023. №2(104). S. 64-79. DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-64-78. EDN KTGWXC.
7. Petrov A.I. Sotsiologicheskie aspekty srednesrochnoy dinamiki organizovannosti perevozchnogo protsessa na gorodskikh avtobusnykh marshrutakh Tyumeni // Transport Urala. 2022. №2(73). S. 9-16. DOI 10.20291/1815-9400-2022-2-9-16. EDN SIAJMA.
8. Bikov D.I. Hamidullin M.R. Razrabotka i vnedrenie sistemy umnogo trekinga v rezhime real'nogo vremeni // International Journal of Advanced Studies. 2020. T. 10. №4. S. 7-17. DOI 10.12731/2227-930X-2020-4-7-17. EDN VPULUO.
9. Belokurov V.P., Panyavina E.A., Busarin E.N., Korablev R.A. Ekonomicheskie mekhanizmy v effektivnom upravlenii po sovershenstvovaniyu organizatsii passazhirskikh perevozok // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2025. №1-1(88). S. 29-35. DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-29-35.
10. Spirin I.V. Gorodskie avtobusnye perevozki. Spravochnik. M. Transport. 1991. 238 s.
11. Petrov A.I., Zakharov D.A. Transportnye sistemy gorodov mira: istoriya razvitiya, tipologiya, kharakternye osobennosti. Tyumen': Tyumenskiy industrial'nyy universitet. 2022. 161 s. EDN JSNJLH.
12. Yarkov S.A. Issledovanie veroyatnosti vybora sposobov peredvizheniya zhitelyami v gorode // Inzhenernyy vestnik Dona. 2023. №8(104). S. 698-706. EDN ZPJSGN.
13. Perova I.T., Smirnova E.V. Issledovanie vostrebovannosti professiy v tselyakh effektivnogo obespecheniya kadrovymi resursami sfery gorodskogo transporta // Aktual'nye voprosy sovremennoy ekonomiki. 2023. №8. S. 148-163. EDN TCLIRW.
12. Fadyushin A.A. Vliyanie stoimosti proezda v gorodskom obshchestvennom transporte na strukturu podvizhnosti naseleniya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2021. №4(87). S. 143-148. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-143-148. EDN JWAENT.
15. Galaburda V.G. Kontseptsiya upravleniya kachestvom transportnogo obsluzhivaniya // Nauka i tekhnika transporta. 2003. №2. S. 49-60. EDN HVEYEJ.

**Yarkov Sergey Aleksandrovich**

Tyumen Industrial University

Address: 625000, Russia, Tyumen, Volodarsky St., 38

Candidate of Technical Sciences

E-mail: jarkovsa@tyuiu.ru

О.В. МАЛИХИНА

## ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ПЕРЕВОЗКИ НЕГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ

**Аннотация.** Рассмотрено применение фактора поликритериального повышения эффективности процесса грузоперевозки. Перевозка негабаритных или тяжеловесных грузов требует глубокого аналитического комплекса проработки. Рекомендации и принимаемые решения по количественному учету поликритериальных факторов является важной составляющей при принятии управленческих решений.

**Ключевые слова:** транспортировка негабаритного груза, многокритериальность, аналитический комплекс, модели перевозки, оптимальные решения

### Введение

Для развития инфраструктуры, а также освоения промышленных объектов, работы на вновь осваиваемых территориях Российской Федерации, перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов играют ключевую роль.

В качестве сокращения влияния негативного фактора необходимо сформировать и разработать рабочие и актуальные аналитические и математические комплексы обработки информации, что позволит в полной мере определить «узкие» места и системы транспортировки негабаритного груза в сравнительном анализе с «идеальными», нормируемыми системами.

Прежде всего освоение новых территорий России требует внимательного отношения к следующим аспектам [1]:

- оценка эффективности перевозки машин;
- контроль за эффективностью перевозки запасных частей машин;
- мониторинг эффективности перевозки агрегатов;
- отслеживание эффективности процесса транспортировки сложных конструкций.

Нельзя не отметить, что перевозка негабаритных или тяжелых грузов требует глубокого аналитического комплекса, который позволит, учитывая трудности в процессе транспортировки, применять наиболее эффективный способ реализации транспортного процесса.

### Материал и методы

Степень неопределенности охватывает большой спектр происходящих событий и ситуаций, поэтому модели и математические методы подходят для точного описания этих неопределенностей как нельзя лучше. Минимизация неопределенностей достаточно сложный процесс, когда контроль за ситуацией характеризуется и оценивается исходя из многообразия различных параметров эффективности. Некоторые способы решения проблем управления перевозками часто применяют математический аппарат при поликритериальной оценке принятия тех или иных решений.

При таком подходе можно указывать разные категории критериев, которые влияют на качество перевозки, а также для минимизации отрицательного влияния ряда факторов.

Применение математических методов позволяет объективно выстраивать многокритериальную систему учитывая внешние и внутренние факторы влияния на ее состояние. В ситуациях, когда нельзя с уверенностью говорить о результатах, лицам, принимающим решения, приходится управлять неопределенностью и риском. И здесь основная задача руководящего состава заключается в том, чтобы расставить цели по приоритетам, то есть опреде-

лить те самые критерии важности.

Критериями эффективности системы, применяемой для перевозки негабаритного груза, должны быть не только оптимальные решения, но и возможность применения этих методов к меняющимся условиям внешней среды.

Исходя из комплекса стратегий и тактик применяемых решений в случае неопределённости, количество вариантов исходи из выбранных критериев минимизируется и увеличивает правильность и логичность применяемого решения.

Управление транспортными системами на сегодняшний день не мыслимо без применения информационных технологий, которые позволяют анализировать и обрабатывать большие объёмы данных, а также отслеживание и предположение будущих изменений.

На сегодня предсказывать загрузку маршрутов перевозки и другие параметры для эффективного построения и оптимизации их под требования клиента способны многокритериальные системы в совокупности с искусственным интеллектом.

Процесс транспортировки негабаритного груза требует особого внимания к большинству различных факторов, которые оказывают свое влияние на процесс совокупной доставки данного вида грузов. Оперативный анализ данных факторов позволит сформировать наиболее подходящий и безопасный маршрут для доставки [2].

Нужно подчеркнуть, что указанные факторы нельзя сопоставлять друг другу, а также то, что качественно приравнивать их нельзя, тут речь идет о факторе поликритериальности модели перевозки негабаритного груза на многих уровнях.

Эти функции образуют математическое описание удовлетворяемого критерия и, как правило, взаимно противоречат. Важно отметить, что многокритериальность является прямым следствием неполноты информации о дорожной ситуации, в которой приходится принимать решение. Именно из-за отсутствия достаточно полной и достоверной информации о возможности использования дорог в построении маршрута, связанное с нестандартностью груза, оказывается невозможным однозначно определить один оптимальный критерий проводимой операции, что и порождает вынужденное стремление оптимизировать принимаемое решение сразу по нескольким показателям.

В контексте целостной системы, некоторые составляющие изменяются под воздействием ряда факторов, теряя часть своих способностей, которые были ранее в исходном варианте, до воздействия системы. Это обстоятельство связано с ограничениями, налагаемыми системой на их функциональные качества, но в то же время, некоторые элементы получают новые свойства за счет взаимодействия с другими элементами.

Системы, в которых существуют разные цели, могут быть взаимоисключающими или взаимосвязанными, при этом каждая цель представляет собой определенный критерий, и анализ таких систем направлен на оптимизацию или нахождение компромиссных решений между этими целями.

Еще одной способностью поликритериальных систем является сложность при выборе оптимального решения, в связи с тем, что получение одной цели возможно приведет к ухудшению другой цели, и для этого надо выявить компромиссные решения.

Методология цифрового управления в информационной системе организации перевозок негабаритных основана на методах теории принятия решений. В основе этих решений лежит возможность аналитического моделирование системы.

Поэтому, выработка количественных рекомендаций в многокритериальных ситуациях связана со значительными трудностями, которые носят объективный характер. Однако в условиях организаций перевозки негабаритного груза приходится принимать решения именно в условиях многокритериальности [11].

Применение фактора поликритериального повышения эффективности процесса транспортировки определено нахождением вектора переменных, которые будут расположены в рамках существующих границ решаемой задачи, а также повышающие точность отражения векторной функции. В данном случае элементы будут соответствовать целевым функциям решаемой задачи.



Целевые функции формируют описание подходящего критерия с применением математического определения и могут противоречить друг другу. Здесь справедливо утверждать, что именно ограниченность данных и информации является причиной применения многокритериального метода решения поставленной задачи и принятия эффективного управленческого решения [8].

Как правило, в процессе перевозки негабаритного или тяжеловесного груза наиболее неопределенной является информация, касающаяся состояния транспортного пути и соответствие предлагаемого пути - перевозимому грузу. В рамках задачи с обширным применением различных критериев именно данные факторы не позволяют просто принять объективное решение, а вынуждают определить эффективность решения в условии действия нескольких критериев [12].

Именно поэтому, разработка рекомендаций по количественному учету факторов и критериев является важной при принятии решений об условиях перевозки в рамках современного решения транспортных задач.

Именно поэтому наиболее перспективным способом решения задач такого типа является разработка методов и методологии векторной оптимизации принимаемого решения.

На текущий момент можно отметить три основных способа решения задач, связанных с многокритериальностью. Отразим их на рисунке 1.

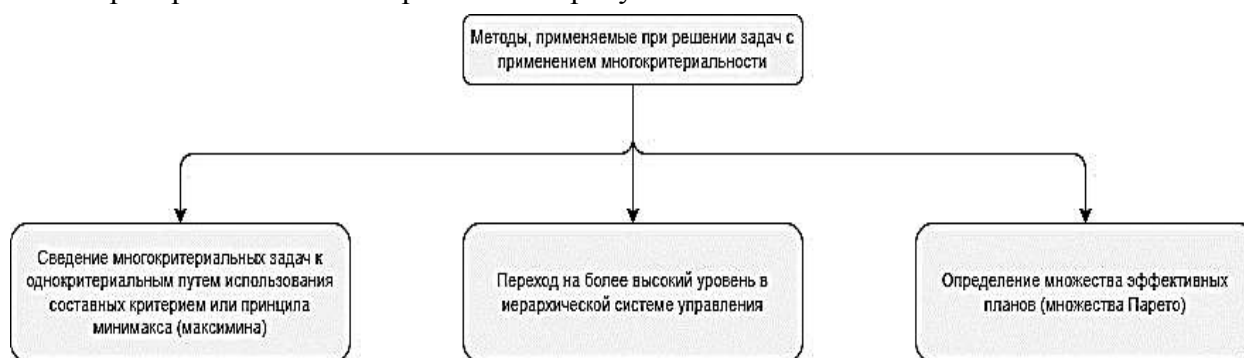


Рисунок 1 – Способы решения задач, связанных с многокритериальностью [6]

В том случае, если многокритериальность рассматривается как элемент неполноты данных, то перечисленные выше методы позволяют определить оценку ключевых факторов рассматриваемой задачи.

Базисом решения любой задачи, связанной с обширным количеством факторов, является минимизация недостатка информации и сокращение неопределенных факторов - сведение их к задачам однокритериальной задачи.

### Расчет

Одним из наиболее простых способов для достижения сокращения факторов является выделение наиболее сильно влияющего фактора, по которому и будет осуществляться дальнейший расчет. Следующим шагом является ведение учета задачи по единому критерию. Все прочие критерии обозначаются и определяются горизонтальными ограничениями как сверху, так и снизу [12].

Так, определим формулу (1) максимизации критериев  $m$ .

$$k_j \rightarrow \max, k_i > k_{i0}, i = \overline{1, m}, i \neq j \quad (1)$$

Применение данной методики определено следующими основными трудностями [3]:

- данная методика не позволяет выделить основной критерий среди пула всех критериев задачи;
- данная методика не предусматривает факторы, которые позволяют ограничить второстепенные критерии.

Ограничения второстепенных критериев определяет значением  $k_{i0}$ .

В качестве первой группы методов можно определить методы, основанные на приме-

нении обширного количества комбинированных факторов.

Недостатком данных методов можно отметить необъективность получаемых результатов, поскольку получение комбинированных критериев производится искусственно. Искусственность определена отсутствием возможности снятия неопределенности [7].

В качестве основных подходов в рамках данных методов можно выделить следующие [5]:

- максимизация совокупности критериев;
- произведение совокупности критериев.

Отразим их в формуле (2):

$$K = \sum_{i=1}^m k_i \rightarrow \max, K = \prod_{i=1}^m k_i \rightarrow \max, \quad (2)$$

Иногда можно применить весовые коэффициенты. В формуле (3) отражен данный способ:

$$K = \sum_{i=1}^m C_i k_i \rightarrow \max, \quad (3)$$

где  $C_i$  – важность показателя  $i$ .

В том случае, когда некоторые критерии задачи должны быть максимизированы, например для первый критериев  $q$ , а ряд других критериев минимизировать, применяется следующая формула (4) [7]:

$$K = \frac{\prod_{i=1}^q k_i}{\prod_{i=q+1}^m k_i} \rightarrow \max \quad (4)$$

Остальные способы формирования комплексного критерия обладают единым основным недостатком – возможность компенсации одного критерия другими критериями задачи.

В качестве примера можно выделить следующее: максимизация совокупных критериев определено одним критерием с минимальным значением и другим критерием максимального значения. В том случае, если показатель суммы данных факторов будет большим, то решение не может применяться в рамках задачи [10].

Другая группа методов решения таких задач не обладает определенным выше недостатком. В рамках данной методики возникает способ уточнения информации и применение управленческого решения с применением обширного числа данных, основанного на использовании ключевого показателя [8].

Нужно учитывать, что применение второй группы методов значительно ограничены в рамках перехода на более высокий уровень управленческого решения. В данном случае основные процессы управления отражены многокритериальной системой с иерархической структурой.

### **Результаты и обсуждение**

Иерархия данного метода определена пирамидой с расчетом нескольких плоскостей, которые параллельно отражены основанию задачи. Каждая плоскость определяет тот уровень управления, на который она направлена.

Нельзя не отметить важность перехода на более высокий уровень управления, что позволяет комплексно определить важность оценки коэффициентов важности в рамках задачи.

Способ решения задачи при применении многокритериальной задачи определено рисками, что может определить данный метод, как радикальный. Внедряя сложную систему иерархии, в разные структуры открывается такая особенность как появление новых атрибутов, управление которыми часто оказывается сложным.

Это возникает из-за непредсказуемости поведения атрибутов и подобно эффектам, возникающим из-за эмерджентности. Здесь верхние слои иерархии несут в себе задачу регуляторов, что помогает уровням ниже развивать новые качества благодаря взаимодействию, которые без таких связей оставались бы совершенно незадействованными.

Нужно подчеркнуть, что интеграция многоуровневой системой ограничена ввиду иерархии, а именно следующим факторам [4]:

- формируются новые атрибуты и переменные в рамках задачи;
- формируются новые эффекты, связанные с эмерджентностью.

В этом случае именно регуляторы, которые могут быть интегрированы в рамках задачи позволяют в полной мере найти эффективное управленческое решение.

### **Выводы**

Рассмотрев особенности формирования процесса организации перевозки негабаритного груза, в части определения оптимального маршрута, можно заключить что сам процесс зави-

сит от множества факторов, имеющих сложную систему взаимозависимости между собой, осложняемую параметром неполноты информации- неопределенности. Для учета данного факта при разработке рабочего аналитическо-математического комплекса обработки информации необходимо применение методов по решению задач многокритериальной оптимизации.

Выбирая между методами составных критериев и основанными на многоуровневой иерархичности, наиболее подходящими являются последние, так как в процессе решения, при переходе к однокритериальной задаче, не только снимается неопределенность, но и сохраняется объективность оценки влияния критериев. Данные методы и будут использованы в дальнейшем при разработке модели организации перевозки негабаритного груза.

Проведенный анализ способов решения задач связанных с поликритериальностью показывает, что информатизация транспортных процессов значительно увеличит эффективность перевозки негабаритных грузов, а также уменьшит затраты и минимизирует риски.

*Статья публикуется по результатам выполнения гранта НПР СПбГАСУ 2025 года*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А.Ю. Методика определения оптимальных маршрутов в условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок // Вестник гражданских инженеров. 2022. №1(90). С. 107-113.
2. Терентьев А.В. Методы решения автотранспортных задач [Электронный ресурс] / Современные проблемы науки и образования. 2015. №1. URL: <http://www.science-education.ru/125-19863>.
3. Малихина О.В., Терентьев А.В. Методология управления эксплуатацией автомобилей в условиях недостаточности информации. Санкт-Петербург: ЧНОУ ДПО «Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦПРАЗВИТИЕ», 2025. 132 с.
4. Nuzhnaya K.G., Malikhina O.V. Possibility of using the adaptive model in transport system management // Dialogue of Generations: Learn. Teach. Study: Proceedings of the V All-Russian Research and Practice Conference with International Participation. In 2 parts. Saint Petersburg: Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД. 2024. P. 90-96.
5. Малихина О.В, Арифуллин И.В. Структура методов, применяемых для снятия неопределённости в информационных ситуациях, характерных для грузовых автомобильных перевозок // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2025. №1(80). С. 81-92.
6. Малихина О.В., Кокорев А.С. Цифровизация как способ оптимизации процесса транспортировки негабаритного груза и технического обслуживания транспортных средств // Транспортное дело России. 2024. № 7. С. 91-93.
7. Малихина О.В., Нужная К.Г. Практика использования адаптивных моделей в системах искусственного интеллекта в транспортной отрасли // Транспортное дело России. 2024. №8. С. 162-165.
8. Малихина О.В. Научные основы управления сложными транспортными системами // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №4–3. С. 96-103.
9. Волкова В.Н., Логинова А.В., Черненькая Л.В., Романова Е.В., Черный Ю.Ю., Ланкин В.Е. Проблемы устойчивого развития социально-экономических систем при внедрении инноваций // Материалы 3-й Международной конференции по человеческому фактору в сложных технических системах и средах. №3. 2018. С. 52-56.
10. Волкова В.Н., Логинова А.В., Леонова А.Е., Черный Ю.Ю. Подход к сравнительному анализу и выбору технологических инноваций третьей и четвертой промышленных революций // XXI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018): Сборник докладов в 2-х томах. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 372-377.
11. Семенова А.А., Малахов А.А. Долгосрочное прогнозирование и планирование развития логистических систем транспорта России в условиях цифровизации экономики // Инновации и инвестиции. №5. 2019. С. 277-281.
12. Трацевский В.В. Имитационное моделирование в системе транспортной логистики при помощи Anylogic // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты: Труды II Международной научно-практической конференции. Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет. 2019. С. 697-701.
13. Волкова В.Н., Кудрявцева А.С. Модели для управления инновационной деятельностью промышленного предприятия // Открытое образование. 2019. №22(4). С. 65-74.
14. Цепковская Т.А., Львович Я.Е. Анализ в транспортных системах инструментальных компонентов: Сборник статей XIII Международной научно-технической конференции. Курск. 2021. С. 325-327.
15. Чебыкин И.А. Автоматизация мониторинга дорожного движения с помощью компьютерного зрения // Мир транспорта. №6. 2020. С. 74-87.

**Малихина Олеся Владимировна**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

К.э.н., доцент кафедры транспортных систем и дорожно-мостового строительства

E-mail: lesya265@gmail.com

O.V. MALIKHINA

## RESEARCH OF MULTILEVEL SYSTEMS IN THE ORGANIZATION OF TRANSPORTATION ROUTES OVERSIZED CARGO

**Abstract.** The application of the factor of polycriteria increase in the efficiency of the freight transportation process is considered. Transportation of oversized or heavy cargoes requires a deep analytical complex of elaboration. Recommendations and decisions on quantitative consideration of polycriteria factors is an important component in making managerial decisions.

**Keywords:** transportation of oversized cargo, multi-criteria, analytical package, transportation models, optimal solutions

*The article is published based on the results of the implementation of the grant of the Scientific and Practical Works of St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering in 2025*

### BIBLIOGRAPHY

1. Andreev A.YU. Metodika opredeleniya optimal'nykh marshrutov v usloviyakh operativnogo planirovaniya avtomobil'nykh gruzovykh perevozok // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2022. №1(90). S. 107-113.
2. Terent'ev A.V. Metody resheniya avtotransportnykh zadach [Elektronnyy resurs] / Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. №1. URL: <http://www.science-education.ru/125-19863>.
3. Malikhina O.V., Terent'ev A.V. Metodologiya upravleniya ekspluatatsiyey avtomobiley v usloviyakh nedostatochnosti informatsii. Sankt-Peterburg: CHNOU DPO "Gumanitarnyy natsional'nyy issledovatel'skiy institut "NATSRRAZVITIE", 2025. 132 s.
4. Nuzhnaya K.G., Malikhina O.V. Possibility of using the adaptive model in transport system management // Dialogue of Generations: Learn. Teach. Study: Proceedings of the V All-Russian Research and Practice Conference with International Participation. In 2 parts. Saint Petersburg: Vysshaya shkola tekhnologii i energetiki SPbGUPTD. 2024. P. 90-96.
5. Malikhina O.V., Arifullin I.V. Struktura metodov, primenyaemykh dlya snyatiya neopredelennosti v informatsionnykh situatsiyakh, kharakternykh dlya gruzovykh avtomobil'nykh perevozok // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2025. №1(80). S. 81-92.
6. Malikhina O.V., Kokorev A.S. Tsifrovizatsiya kak sposob optimizatsii protsessa transportirovki negabaritnogo gruzha i tekhnicheskogo obsluzhivaniya transportnykh sredstv // Transportnoe delo Rossii. 2024. № 7. S. 91-93.
7. Malikhina O.V., Nuzhnaya K.G. Praktika ispol'zovaniya adaptivnykh modeley v sistemakh iskusstvennogo intellekta v transportnoy otrasli // Transportnoe delo Rossii. 2024. №8. S. 162-165.
8. Malikhina O.V. Nauchnye osnovy upravleniya slozhnymi transportnymi sistemami // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №4-3. S. 96-103.
9. Volkova V.N., Loginova A.V., Chernen'kaya L.V., Romanova E.V., Chernyy YU.YU., Lankin V.E. Problemy ustoychivogo razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem pri vnedrenii innovatsiy // Materialy 3-y Mezhdunarodnoy konferentsii po chelovecheskomu faktoru v slozhnykh tekhnicheskikh sistemakh i sredakh. №3. 2018. S. 52-56.
10. Volkova V.N., Loginova A.V., Leonova A.E., Chernyy YU.YU. Podkhod k sravnitel'nomu analizu i vyboru tekhnologicheskikh innovatsiy tret'ey i chetvertoy promyshlennykh revolyutsiy // XXI Mezhdunar. konf. po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM-2018): Sbornik dokladov v 2-kh tomakh. SPb.: SPbGETU "LETI". S. 372-377.
11. Semenova A.A., Malakhov A.A. Dolgosrochnoe prognozirovaniye i planirovaniye razvitiya logisticheskikh sistem transporta Rossii v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki // Innovatsii i investitsii. №5. 2019. S. 277-281.
12. Tratshevskiy V.V. Imitatsionnoye modelirovaniye v sisteme transportnoy logistiki pri pomoshchi Anylogic // Tsifrovoy region: opyt, kompetentsii, proekty: Trudy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Bryansk: Bryanskiy gosudarstvennyy inzhenerno-tekhnologicheskii universitet. 2019. S. 697-701.
13. Volkova V.N., Kudryavtseva A.S. Modeli dlya upravleniya innovatsionnoy deyatel'nost'yu promyshlennogo predpriyatiya // Otkrytoe obrazovanie. 2019. №22(4). S. 65-74.
14. Tsepkovskaya T.A., L'vovich YA.E. Analiz v transportnykh sistemakh instrumental'nykh komponentov: Sbornik statey XIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Kursk. 2021. S. 325-327.
15. Chebykin I.A. Avtomatizatsiya monitoringa dorozhnogo dvizheniya s pomoshch'yu komp'yuternogo zreniya // Mir transporta. №6. 2020. S. 74-87.

**Malikhina Olesya Vladimirovna**

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Adress: 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya St., 4

Candidate of Economic Sciences

E-mail: lesya265@gmail.com

А.А. КУСТЕНКО, Д.В.КАПСКИЙ

## К ВОПРОСУ РАСЧЁТА ЗАДЕРЖЕК ТРАМВАЕВ У СВЕТОФОРНОГО ОБЪЕКТА С УЧЁТОМ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ И СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема оптимизации светофорного регулирования для повышения эффективности трамвайного движения в условиях городской среды. На примере маршрутной сети г. Минска проведён анализ факторов задержек, включая управляемые и неуправляемые. Разработана аналитическая модель расчёта времени прибытия трамвая к светофорным объектам (СФО), учитывающая детерминированные параметры (время движения, продолжительность цикла) и стохастические отклонения (разброс временного интервала прибытия). Введён коэффициент синхронизации светофорных фаз, позволяющий оценить соответствие момента прибытия трамвая разрешающему сигналу светофора. Предложена формула для расчёта оптимального временного сдвига между соседними СФО, учитывающая как средние значения времени движения, так и дисперсию, обусловленную случайными факторами.

**Ключевые слова:** светофорное регулирование, синхронизация фаз, трамвайное движение, аналитическая модель, задержки, адаптивное управление, стохастические факторы

### Введение

Трамвай являясь ключевым элементом устойчивой городской мобильности, сталкивается с растущими вызовами в условиях урбанизации и увеличения транспортной нагрузки. Несмотря на экологическую и экономическую эффективность, его конкурентоспособность снижается из-за системных задержек, вызванных неоптимальным светофорным регулированием. Современные городские транспортные сети требуют баланса между пропускной способностью автомобильных потоков и приоритетом общественного транспорта, однако существующие системы управления светофорами часто ориентированы на автомобили, игнорируя специфику трамвайного движения.

Основная проблема заключается в несоответствии детерминированных параметров светофорных циклов (длительность фаз, синхронизация) стохастической природе движения трамваев [1]. На задержки влияют как управляемые факторы, так и неуправляемые [2]. При этом большинство существующих моделей оптимизации фокусируются на средних значениях времени движения, не учитывая дисперсию, вызванную случайными событиями [4]. Это приводит к некорректным прогнозам и неэффективному управлению [6].

Актуальность исследования подкрепляется необходимостью снижения экологической нагрузки за счёт повышения привлекательности общественного транспорта [11]. Задержки трамваев увеличивают время поездок, снижая пассажиропоток и провоцируя переход горожан к использованию личных автомобилей, что усугубляет пробки и выбросы [9]. Кроме того, рост требований к точности расписания в рамках концепции «умного города» требует внедрения адаптивных систем, учитывающих реальные условия движения.

Цель исследования – разработка методики расчета затрат при светофорном регулировании, а также методики синхронизации светофорных фаз, направленной на минимизацию задержек трамваев в городской среде.

### Материал и методы

В исследовании использовались методы полевых измерений, статистического анализа и математического моделирования для разработки комплексной методики расчёта задержек трамваев на светофорных объектах. На первом этапе проводились замеры времени прибытия

трамваев к трём светофорным объектам в Минске, учитывая параметры светофорных циклов, количество остановочных пунктов и протяжённость перегонов. Для оценки задержек использовались интегральные методы и математическое ожидание, учитывающие вероятность попадания трамвая на запрещающий сигнал [8]. Коэффициент синхронизации фаз связывал расчётное время прибытия с долей зелёного сигнала в цикле, а формула оптимального временного сдвига между светофорами корректировала фазы с учётом дисперсии времени движения.

Модель опиралась на функции стандартного нормального распределения ( $\Phi(z)$  и  $\phi(z)$ ) для вероятностной оценки задержек, а также включала параметризацию скорости трамвая и времени простоя через эмпирически выведенные коэффициенты. Визуализация результатов, включая графики зависимостей и гистограммы, выполнялась в MS Excel, что обеспечило наглядность анализа. Комбинация эмпирических данных, статистических методов и вероятностного моделирования позволила создать адаптивную методику, применимую для оптимизации светофорного регулирования в условиях реального трафика.

### Теория и расчет

Так как трамвай движется не в потоке, его прибытие к СФО не растягивается на длительное время, как при движении автомобильного транспортного потока. Как следствие можно предположить, что трамваю не нужна большая трамвайная фаза для проезда СФО, также можно предположить, что большинство трамваев пребывают к СФО в определенное время светофорного цикла и разброс во времени прибытия трамвая зависит от количества ОП перед СФО.

Для проверки гипотезы, провели исследование на трех различных СФО с различным количеством ОП перед ним (от 0 до 2). Все измерения на каждом СФО производились в одном плане координации, тем самым время сдвига включения трамвайной фазы ( $t_{сдi}$ ) и время цикла ( $C_i$ ) одинаковые для всех замеров на каждом СФО. Замеры проводились в солнечную погоду в межпиковое время движения трамваев.

Замеры времени прибытия к СФО проводились на перекрестке Старовиленский тракт – ул.Нововиленская, на перегоне перед которым расположено два ОП; на перекрестке ул. Я. Колоса – ул. Дорошевича в направлении от ДС «Зеленый луг» перед которым расположено нет ОП и на перекрестке ул. Куйбышева – пр-т. Машерова в направлении от ДС «Озеро» перед которым расположен один ОП.

Характеристика СФО:

Старовиленский тракт – ул.Нововиленская. Время цикла ( $C_i$ ) – 100с, продолжительность трамвайной фазы ( $t_z$ ) – 15с. Произведено 123 замера.

ул. Я. Колоса – ул. Дорошевича. Время цикла ( $C_i$ ) – 100с, продолжительность трамвайной фазы ( $t_z$ ) – 65с. Произведено 84 замера.

ул. Куйбышева – пр-т. Машерова. Время цикла ( $C_i$ ) – 150с, продолжительность трамвайной фазы ( $t_z$ ) – 20с. Произведено 93 замера.

В процессе проведения исследования замечено, что трамваи пребывают через фиксированные интервалы, с определенной долей погрешности от начала включения разрешающего сигнала на СФО. Интервалы прибытия распределяются по нормальному закону и на величину погрешности влияет количество факторов неопределенности между двумя соседними СФО, к которым в частности относятся остановочные пункты (ОП) трамвая и нерегулируемые пешеходные переходы.

На основании исследований предложена аналитическая модель расчета времени прибытия трамвая к стоп-линии СФО в светофорном цикле в зависимости от времени простоя на ОП и длины перегона между СФО.

Время прибытие к СФО, относительно времени начала светофорного цикла:

$$t_{\text{прт}}^{\text{сфо}} = (t_{\text{дви}} + t_{\text{опi}} + t_{\text{oi}} - t_{\text{сди}}) \bmod C, \text{ с}$$

где  $t_{\text{дви}}$  – время движения по  $i$ -му участку маршрута, между СФО, с

$C_i$  – время цикла  $i$ -ого СФО, с;

$t_{\text{oi}}$  – время отправления от предыдущего СФО, относительно времени включения «зеленого» сигнала  $i$ -ого СФО, с;

$t_{сдi}$  – временной сдвиг между включением «зеленого» сигнала цикла на двух соседних СФО, с;

$t_{опi}$  – время простоя на  $i$ -м ОП, нерегулируемом пешеходном переходе или ином объекте, движение участников ДД по которому вступает в конфликт с ТД, с.

Время на движение трамвая между СФО состоит из равноускоренного движения и времени остановок. Остановки могут быть как технологические (на ОП трамвая) и вызванные конфликтом с другими участниками ДД.

Раскрыв в формуле значение параметра времени движения модель расчета времени прибытия трамвая к СФО примет следующий вид:

$$t_{прт}^{сфо} = \left( \sum_{i=1}^{n_{yi}} \left( \frac{l_{ymi} \cdot a_T + V_{тpi}^2}{a_T \cdot V_{тpi}} \right) + \sum_{i=1}^{n_{опi}} t_{опi} + t_o - t_{сд} \right) \bmod C, \text{ с},$$

где  $n_{опi}$  – количество ОП  $i$ -м участке маршрута, между регулируемыми объектами.

Для упрощения работы с полученной целевой функцией введем безразмерную величину – коэффициент синхронизации светофорных фаз ( $\eta_c$ ):

$$\eta_c = \left\{ \frac{\left( \sum_{i=1}^{n_{yi}} \left( \frac{l_{ymi} \cdot a_T + V_{тpi}^2}{a_T \cdot V_{тpi}} \right) + \sum_{i=1}^{n_{опi}} t_{опi} + t_o - t_{сд} \right)}{C} \right\}.$$

Таким образом функция расчета времени прибытия трамвая к СФО2 примет следующий вид:

$$t_{прт}^{сфо} = \eta_c \cdot C, \text{ с}$$

где  $\eta_c$  – коэффициент синхронизации светофорных фаз.

Коэффициент  $\eta_c$  изменяется от 0 до 1, при этом коэффициент стремится к 1, но не достигает данного значения.

Значение коэффициента  $\eta_c$  равное 0 и близкое к 1 указывает на прибытие трамвая в начале разрешающего сигнала СФО2.

Значение  $\eta_c$  позволяет путем сравнения с долей зеленого сигнала в светофорном цикле СФО2 ( $\lambda$ ) определить проедет трамвай без остановки СФО2 или остановится на запрещающий сигнал светофора СФО2:

$\lambda \leq \eta_c$  – трамвай пребывает на запрещающий сигнал светофора СФО2;

$\lambda > \eta_c$  – трамвай пребывает на разрешающий сигнал светофора СФО2;

где  $\lambda$  – доля разрешающего сигнала для трамвая в светофорном цикле,

$$\lambda = \frac{t_z}{C},$$

Исходя из времени прибытия трамвая в СФО можно записать выражение определяющее время задержки трамвая у СФО через интегральное представление функции задержки трамвая.

Функция задержки  $d_{(сфoi)}$  может быть выражена через интеграл с использованием индикаторной функции  $I_{\{\eta_c > \lambda\}}$ , которая активирует задержку только при выполнении условия  $\eta_c > \lambda$ :

$$d_{сфoi} = \int_0^1 C \cdot (1 - t) \cdot I_{\{t > \lambda\}} \cdot \delta(t - \eta_c) dt, \text{ с},$$

где  $t \in [0,1]$  – переменная интегрирования, представляющая фазу прибытия трамвая в цикле СФО2;

$\delta(t - \eta_c)$  – дельта-функция Дирака, "выбирающая" значение  $t = \eta_c$ ;

$I_{\{\eta_c > \lambda\}}$  – индикаторная функция, равная 1 при  $t > \lambda$ , иначе 0.

Дельта-функция  $\delta(t - \eta_c)$  "фиксирует" значение  $t = \eta_c$ , что позволяет связать переменную интегрирования  $t$  с коэффициентом  $\eta_c$ .

Индикаторная функция  $I_{\{t > \lambda\}}$  обеспечивает выполнение условия  $\eta_c > \lambda$ .

Интеграл сводится к выражению:

$$d_{(\eta_c)} = \begin{cases} C - \eta_c \cdot C, & \text{если } \eta_c > \lambda \\ 0, & \text{если } \eta_c \leq \lambda \end{cases}$$

Полученная модель является детерминированной, предполагая что известно точное значение  $\eta_c$ , игнорируя случайные отклонения.

Так как на движение трамвая влияет множество факторов, каждый из которых может влиять на его скорость, такие как: техническое состояние путей и подвижного состава, погодные условия, колебание пассажиропотока, инфраструктурные ограничения, человеческий фактор, внешние события (ДТП, стихийные бедствия или политические решения), время прибытия трамвая к СФО2 может варьироваться с определенной для каждого СФО дисперсией.

При учете вероятности в определении времени задержки, время прибытия  $\eta_c$  моделируется как нормально распределённая случайная величина:

$$\eta_c \sim N(\mu, \sigma^2)$$

с плотностью распределения:

$$f_{\eta_c}(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}.$$

Ожидаемая задержка – это математическое ожидание функции задержки относительно распределения  $\eta_c$ :

$$d_{cfoi} = \int_0^1 C \cdot (1-t) \cdot I_{\{t>\lambda\}} \cdot f_{\eta_c}(t) dt, \text{ с.}$$

Интеграл вычисляется только в области  $t>\lambda$ , что соответствует усечению распределения:

$$d_{cfoi} = C \cdot \int_{\lambda}^1 (1-t) \cdot f_{\eta_c}(t) dt, \text{ с.}$$

Раскроем скобки в подынтегральном выражении:

$$d_{cfoi} = C \cdot \left[ \int_{\lambda}^1 f_{\eta_c}(t) dt - \int_{\lambda}^1 t \cdot f_{\eta_c}(t) dt \right], \text{ с.}$$

Первый интеграл – вероятность прибытия на красный сигнал:

$$\int_{\lambda}^1 f_{\eta_c}(t) dt = 1 - \Phi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right),$$

где  $\Phi(z)$  – функция стандартного нормального распределения (вероятность прибытия трамвая на разрешающий сигнал светофора).

Второй интеграл – математическое ожидание  $\eta_c$  при условии  $\eta_c > \lambda$ . Для нормального распределения:

$$\int_{\lambda}^1 t \cdot f_{\eta_c}(t) dt = K_{cc} \left( 1 - \Phi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right) + \sigma \cdot \varphi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right) \right),$$

где  $\varphi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right)$  – значение плотности стандартного нормального распределения,

$$\varphi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right)^2}{2}}.$$

Объединяя оба интеграла:

$$d_{cfoi} = C \cdot \left( \left( 1 - \Phi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right) \right) - K_{cc} \cdot \left( 1 - \Phi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right) + \sigma \cdot \varphi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right) \right) \right), \text{ с.}$$

Упрощение даёт итоговую формулу:

$$d_{cfoi} = C \cdot \left( \left( 1 - \Phi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right) \right) \cdot (1 - \eta_c) - \sigma \cdot \varphi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right) \right), \text{ с.}$$

Интерпретация слагаемых:

-  $\left( 1 - \Phi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right) \right) \cdot (1 - \eta_c)$  - средняя задержка, если бы все трамваи приезжали точно в момент  $\eta_c$ .

-  $\sigma \cdot \varphi\left(\frac{\lambda - \eta_c}{\sigma}\right)$  - поправка на разброс времени прибытия. Чем больше  $\sigma$ , тем сильнее "хвост" распределения влияет на задержку.

Объединенная формула учитывает оба фактора – вероятность прибытия на красный сигнал и условную задержку. Она позволяет анализировать, как изменения  $\eta_c$ ,  $\lambda$ ,  $\sigma$  и  $C$  влия-



ют на итоговую задержку. Для оптимизации системы нужно:

- 1) сдвигать среднее прибытие  $\eta_c$  в зону зеленого сигнала;
- 2) увеличивать  $\lambda$  (удлинять зеленую фазу);
- 3) снижать  $\sigma$  (минимизировать разброс времени прибытия).

Пример расчета задержки трамвая на перекрестке ул. Куйбышева – пр-т. Машерова при различных значениях  $\eta_c$  ( $C=150c$ ,  $\lambda=0,133$ )

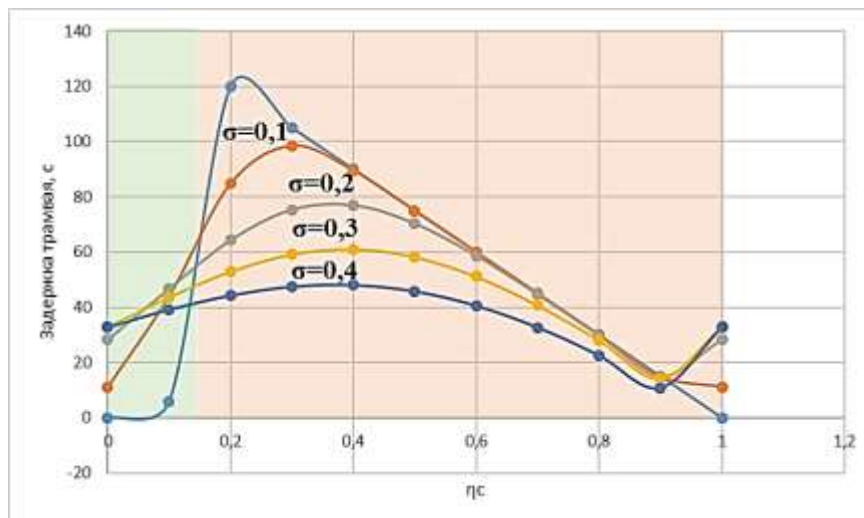


Рисунок 1 – Задержки трамвая на СФО (ул. Куйбышева – пр-т. Машерова) при различных значениях  $\eta_c$  (зеленая и красная зона соответствует разрешающему и запрещающему сигналу светофора)

В рамках анализа задержек трамвайного движения в условиях дорожного движения ключевым управляемым параметром может являться доля разрешающего сигнала светофора в цикле ( $\lambda$ ). Увеличение значения  $\lambda$  для трамвайного направления приводит к повышению вероятности совпадения момента прибытия трамвая с фазой зеленого сигнала, что теоретически способствует снижению временных потерь. Однако данная корректировка одновременно сокращает долю зеленого времени ( $\lambda$ ) для конфликтующих транспортных потоков, что увеличивает их издержки.

В идеализированной модели, предполагающей равномерное прибытие трамваев к СФО, зависимость издержек трамвайного движения от  $\lambda$  может быть описана линейной функцией. В этом случае увеличение  $\lambda$  пропорционально снижает задержки, достигая теоретического минимума при  $\lambda=1$ . Однако в реальных условиях наблюдается стохастичность временных интервалов прибытия трамваев, обусловленная факторами неопределенности ( $\sigma>0$ ). Данное отклонение от равномерности приводит к необходимости увязки  $\lambda$  с коэффициентом синхронизации светофорного цикла ( $\eta_c$ ), характеризующим степень соответствия длительности зеленой фазы периодичности движения трамвая.

Граничные условия для доли зеленого сигнала ( $\lambda$ ):

Минимальное значение ( $\lambda_{\min}$ ): Определяется технико-эксплуатационными ограничениями, включающими время прохождения трамваем конфликтной зоны, страховочные интервалы и количество одновременно обслуживаемых единиц:

$$\lambda_{\min} = \frac{N_{\text{тр}} \cdot (t_{\text{кз}} + t_{\text{си}})}{C},$$

где  $N_{\text{тр}}$  – максимально возможное число трамваев, пересекающих перекресток за одну фазу, ед;

$t_{\text{кз}}$  – время прохождения конфликтной зоны, с;

$t_{\text{си}}$  – страховочный временной интервал безопасности, с.

Данное значение гарантирует отсутствие коллизий при пересечении перекрестка.

Максимальное значение ( $\lambda_{\max}$ ): Ограничивается стохастической природой прибытия трамваев, описываемой нормальным распределением  $N(\mu, \sigma^2)$ . Для обеспечения попадания

трамвая в разрешающую фазу с вероятностью  $\sim 95\%$  (в рамках двухсигмового интервала) верхняя граница  $\lambda$  задается как:

$$\lambda_{\max} = \frac{2 \cdot \sigma}{C}.$$

Это соотношение отражает требование к ширине временного окна, покрывающего 95% случаев прибытия трамвая при заданном  $\sigma$ .

Физическая интерпретация:

При  $\sigma \rightarrow 0$  (детерминированное прибытие) значение  $\lambda_{\text{ах}}$  стремится к нулю, что соответствует отсутствию необходимости в резервировании времени.

Рост  $\sigma$  (увеличение нерегулярности прибытия) требует расширения «зеленого» окна для минимизации вероятности задержек.

Системные ограничения: Значение  $\lambda_{\text{ах}}$  не может превышать:  $1 - \lambda_{\text{mincar}}$ , где  $\lambda_{\text{mincar}}$  – минимальная доля зеленого сигнала для автомобилей, необходимая для предотвращения перегрузки перекрестка.

Допустимый диапазон  $\lambda$  определяется как  $\lambda \in [\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ , где:  $\lambda_{\min}$  обеспечивает базовую пропускную способность;  $\lambda_{\text{ах}}$  – адаптивный параметр, учитывающий дисперсию прибытия трамваев. Калибровка  $\lambda$  требует анализа эмпирических данных  $\sigma$  и балансировки с учетом приоритетов транспортной политики.

Анализ влияния доли разрешающего сигнала ( $\lambda$ ) на задержки трамвайного движения демонстрирует его ограниченную значимость в условиях стохастического характера прибытия трамваев. Поскольку временные интервалы прибытия подчиняются нормальному распределению  $N(\mu, \sigma^2)$ , математическое ожидание ( $\mu$ ) не гарантирует попадание трамвая в интервал действия разрешающей фазы. Увеличение  $\lambda$  лишь повышает вероятность  $P(\mu \pm k\sigma \in [0, \lambda \cdot C])$ , но не устраняет принципиальную зависимость задержек от стохастических отклонений.

Следовательно, ключевым управляющим параметром при организации движения выступает синхронизация светофорных фаз, включающая корректное смещение  $t_{\text{сд}}$  между соседними светофорными объектами (СФО).

Для обеспечения безостановочного движения трамвая критически важным становится расчёт оптимального временного сдвига  $t_{\text{сд}}^{\text{опт}}$  включения разрешающего сигнала на СФО2 относительно СФО1, определяемого балансом между детерминированной компонентой (среднее время прибытия) и стохастическими отклонениями.

Данный параметр вычисляется по формуле:

$$t_{\text{сд}}^{\text{опт}} = \left( (t_{\text{пр}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{оп}}) \bmod C - \sigma \cdot \frac{\varphi(z)}{1 - \Phi(z)} \right) \bmod C, \text{ с.}$$

#### 1. Детерминированная часть сдвига

Расчёт базового сдвига (суммарное время движения трамвая от СФО1 до СФО2, приведённое к интервалу  $[0, C)$  с учётом цикличности светофоров), необходимого для синхронизации прибытия трамвая с разрешающей фазой СФО2, если время движения точно соответствует расчётному:

$$(t_{\text{пр}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{оп}}) \bmod C,$$

где  $\bmod C$  учитывает цикличность светофоров.

#### 2. Статистическая поправка на погрешность

Корректирует сдвиг с учётом случайных задержек. Чем больше неопределённость ( $\sigma$ ), тем сильнее корректировка:

$$\sigma \cdot \frac{\varphi(z)}{1 - \Phi(z)}.$$

Параметр  $z$  в формуле оптимального сдвига светофорных фаз определяется как:

$$z = \frac{\lambda \cdot C - ((t_{\text{пр}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{оп}}) \bmod C)}{\sigma},$$

где  $\lambda \cdot C$  – длительность зелёного сигнала в абсолютных единицах времени (секунды);

$\sigma$  – стандартное отклонение времени прибытия, характеризующее случайные колебания.

Разность  $\lambda \cdot C - (\dots)$  показывает отклонение времени прибытия трамвая от окончания разрешающей фазы СФО. Если результат положительный ( $\lambda \cdot C > \text{прибытие}$ ), трамвай прибывает до окончания разрешающего сигнала. Если отрицательный – то математическое ожидание прибытия трамвая попадает на запрещающий сигнал СФО2.

Значение  $\sigma$  преобразует абсолютное отклонение в стандартизированные единицы, учитывая разброс времени прибытия. Это позволяет сравнивать отклонения для разных сценариев и светофоров.

Если трамваи часто опаздывают ( $\sigma > 0$ ), сдвиг уменьшается, чтобы компенсировать задержки.

Если движение идеально стабильно ( $\sigma = 0$ ), поправка исчезает, и сдвиг равен детерминированному значению.

Для перекрестка ул. Куйбышева – пр-т. Машерова  $\sigma = 0,123$ ,  $\eta_c = 0,136$  Средняя задержка трамвая на СФО составляет  $\approx 58,5$  секунд за цикл.

Причины задержки: Трамвай прибывает в среднем через  $\mu = \eta_c \cdot C = 0,136 \cdot 150 = 20,4$  с после начала цикла. Граница зелёной фазы:  $\lambda \cdot C = 0,1333 \cdot 150 = 20$  с. Поскольку  $\mu > \lambda \cdot C$ , трамвай часто попадает на красный сигнал.

Коррекция смещения фаз: Используйте формулу оптимального сдвига для данных примера:

$$t_{\text{сд}}^{\text{опт}} = \left( 20,4 - 18,5 \cdot \frac{0,3989}{0,5086} \right) \bmod 150 \approx 5,3 \text{ с.}$$

Это смещение "подтягивает"  $\mu$  к началу зелёной фазы, снижая вероятность задержки на 21,5%. Увеличение доли зелёного сигнала ( $\lambda$ ) с 0,1333 до 0,15 снизит задержку на 30–40%.

### **Результаты и обсуждение**

Введение коэффициента синхронизации фаз ( $\eta_c$ ) и формулы расчёта задержки трамвая на СФО обеспечило инструментарий для минимизации задержек. Доминирующим параметром управления в дорожном движении с участием трамвая является не только  $\lambda$ , а еще и синхронизация фаз, обеспечивающая соответствие между стохастическим движением и светофорным циклом. Оптимальный сдвиг ( $t_{\text{сд}}^{\text{опт}}$ ), учитывающий, как детерминированные ( $\mu$ ), так и случайные ( $\sigma$ ) факторы, позволяет в 95 % случаев обеспечить пропуск трамвая через СФО без задержек.

Результаты исследования могут быть интегрированы в системы адаптивного управления транспортными потоками для оптимизации трамвайного движения в условиях городской среды. Внедрение предложенной модели в алгоритмы светофорного регулирования позволит динамически корректировать смещение фаз на основе текущих данных о времени движения, статистике задержек и изменяющихся параметрах трафика. Для реализации рекомендуется использовать платформы, агрегирующие информацию с датчиков GPS/ГЛОНАСС, установленных на трамваях, и передающие её в централизованную систему управления светофорами. Это обеспечит учёт реального распределения времени прибытия и автоматический пересчёт оптимального временного сдвига при изменении условий. Дополнительный эффект может быть достигнут за счёт интеграции модели с системами приоритетного пропуска общественного транспорта, где корректировка фаз будет синхронизирована не только с расписанием, но и с текущей загруженностью маршрутов.

### **Выводы**

Проведённое исследование подтвердило ключевую роль оптимизации светофорного регулирования в повышении эффективности трамвайного движения в условиях городской среды. На примере маршрутной сети г.Минска продемонстрировано, что задержки трамваев в значительной степени обусловлены несоответствием между временем прибытия трамваев и фазами светофорных циклов. Разработанная аналитическая модель, интегрирующая детерминированные параметры (время движения, цикл светофора) и стохастические отклонения (разброс времени прибытия), позволила количественно оценить влияние управляемых и неуправляемых факторов на транспортные издержки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кустенко А.А. Некоторые вопросы оптимизации трамвайного движения // Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство городов. 2006. №69. С. 294-301.
2. Кустенко А.А. Оценка влияния скорости движения на величину потерь // Дальний восток. Автомобильный дороги и безопасность движения: международный сборник научных трудов. Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т. 2009. №9. 44 с.
3. Врубель Ю.А., Капский Д.В., Кот Е.Н. Определение потерь в дорожном движении. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2006. 239 с. EDN SPGLSP.
4. Мирончук А.А., Добрынина Ю.Ю. Исследование влияния расстояния между остановочными пунктами на скорость движения трамвая // Инженерный вестник Дона. 2020. №4 (64). С. 39.
5. Власов А.А. Адаптивные системы управления дорожным движением в городах. Пенза: ПГУАС, 2012. 184 с.
6. Власов А.А., Широков М.В. Проблемы применения алгоритмов оптимизации параметров светофорного цикла в реальном времени // Вестник МАДИ (ГТУ). 2009. Вып. 2 (17). С. 103–108.
7. Координированное управление дорожным движением: Монография / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Д. В. Рожанский [и др.]. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2011. 230 с. EDN TLBBOV.
8. Ерещенко Т.В. [и др.] Анализ и моделирование транспортных потоков на перекрестке для управления качеством городской среды // Инженерный вестник Дона. 2022. №8. С. 99–107.
9. Капский Д.В., Кузьменко В.Н., Мозалевский Д.В. [и др.]. Исследования показателей эффективности транспортной системы симбиотического города // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2021. №1. С. 137-148. EDN FSSIWM.
10. Основы автоматизации интеллектуальных транспортных систем: Учебник / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, С.В. Богданович, О.Н. Ларин, С.С. Семченков. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. 412 с.
11. Капский Д.В. Городская логистика – стратегический элемент устойчивого развития урбанизированных территорий // Проблемы международной транспортной политики: Материалы международной конференции. М. 2022. С. 49–54.
12. Синергия подходов к совершенствованию интеллектуальных транспортных систем городов в России и Белоруссии: Монография / И.Н. Пугачев [и др.]. Хабаровск: ТОГУ, 2020. 230 с.
13. Wilcoxon F. Individual Comparisons by Ranking Methods // Biometrics Bulletin. 1945. Vol. 1. №6. P. 80–83.
14. Everitt B. The Cambridge dictionary of statistics. Cambridge University Press, 1988. 67 p.
15. Faye S., Chaudet C., Demeure I. A Distributed Algorithm for Adaptive Traffic Lights Control // 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. USA, Anchorage, 2012.

### Кустенко Александр Александрович

Белорусский национальный технический университет

Адрес: 220000, Беларусь, г. Минск, пр-т. Независимости, 65

Магистр, старший преподаватель кафедры «Транспортные системы и технологии»

E-mail: alexk1981@mail.ru

### Капский Денис Васильевич

Белорусский национальный технический университет

Адрес: 220000, Беларусь, г. Минск, пр-т. Независимости, 65

Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Транспортные системы и технологии»

E-mail: d.kapsky@gmail.com

---

A.A. KUSTENKO, D.V. KAPSKI

## ON THE ISSUE OF CALCULATING TRAM DELAYS AT TRAFFIC LIGHT OBJECTS TAKING INTO ACCOUNT DETERMINISTIC AND RANDOM FACTORS

**Abstract.** The article addresses the problem of optimizing traffic light control to enhance the efficiency of tram movement in urban environments. Using the route network of Minsk as an example, an analysis of delay factors is conducted, including controllable factors (traffic light cycles, phase synchronization) and uncontrollable factors (passenger exchange, conflicts with other road users). An analytical model for calculating the arrival time of trams at traffic light objects (TLOs) is developed, taking into account deterministic parameters (travel time, cycle duration) and stochastic deviations (arrival

time variability). A phase synchronization coefficient ( $\eta$ ) is introduced to assess the alignment of the tram's arrival time with the traffic light's green signal. A formula is proposed for calculating the optimal time shift between adjacent TLOs, considering both average travel times and variance due to random factors.

**Keywords:** traffic light control, phase synchronization, tram movement, analytical model, delays, adaptive control, stochastic factors

## BIBLIOGRAPHY

1. Kustenko A.A. Nekotorye voprosy optimizatsii tramvaynogo dvizheniya // Nauchno-tehnicheskiy sbornik. Kommunal'noe khozyaystvo gorodov. 2006. №69. S. 294-301.
2. Kustenko A.A. Otsenka vliyaniya skorosti dvizheniya na velichinu poter' // Dal'niy vostok. Avtomobil'nyy dorogi i bezopasnost' dvizheniya: mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov. Habarovsk: Tikhookan. gos. un-t. 2009. №9. 44 s.
3. Vrubeľ YU.A., Kapskiy D.V., Kot E.N. Opredelenie poter' v dorozhnom dvizhenii. Minsk: Belorusskiy natsional'nyy tekhnicheskiy universitet, 2006. 239 s. EDN SPGLSP.
4. Mironchuk A.A., Dobrynina YU.YU. Issledovanie vliyaniya rasstoyaniya mezhdru ostanovochnymi punktami na skorost' dvizheniya tramvaya // Inzhenernyy vestnik Dona. 2020. №4 (64). S. 39.
5. Vlasov A.A. Adaptivnye sistemy upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodakh. Penza: PGUAS, 2012. 184 s.
6. Vlasov A.A., Shirokov M.V. Problemy primeneniya algoritmov optimizatsii parametrov svetofornogo tsikla v real'nom vremeni // Vestnik MADI (GTU). 2009. Vyp. 2 (17). S. 103-108.
7. Koordinirovannoe upravlenie dorozhnym dvizheniem: Monografiya / YU. A. Vrubeľ, D. V. Kapskiy, D. V. Rozhanskiy [i dr.]. Minsk: Belorusskiy natsional'nyy tekhnicheskiy universitet, 2011. 230 s. EDN TLBBOV.
8. Ershchenko T.V. [i dr.] Analiz i modelirovanie transportnykh potokov na perekrestke dlya upravleniya kachestvom gorodskoy sredy // Inzhenernyy vestnik Dona. 2022. №8. S. 99-107.
9. Kapskiy D.V., Kuz'menko V.N., Mozalevskiy D.V. [i dr.]. Issledovaniya pokazateley effektivnosti transportnoy sistemy simbioticheskogo goroda // Dal'niy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa. 2021. №1. S. 137-148. EDN FSSIWM.
10. Osnovy avtomatizatsii intellektual'nykh transportnykh sistem: Uchebnik / D.V. Kapskiy, E.N. Kot, S.V. Bogdanovich, O.N. Larin, S.S. Semchenkov. Moskva; Vologda: Infra-Inzheneriya, 2022. 412 s.
11. Kapskiy D.V. Gorodskaya logistika - strategicheskii element ustoychivogo razvitiya urbanizirovannykh territoriy // Problemy mezhdunarodnoy transportnoy politiki: Materialy mezhdunarodnoy konferentsii. M. 2022. S. 49-54.
12. Sinergiya podkhodov k sovershenstvovaniyu intellektual'nykh transportnykh sistem gorodov v Rossii i Belorussii: Monografiya / I.N. Pugachev [i dr.]. Habarovsk: TOGU, 2020. 230 s.
13. Wilcoxon F. Individual Comparisons by Ranking Methods // Biometrics Bulletin. 1945. Vol. 1. №6. P. 80-83.
14. Everitt B. The Cambridge dictionary of statistics. Cambridge University Press, 1988. 67 p.
15. Faye S., Chaudet C., Demeure I. A Distributed Algorithm for Adaptive Traffic Lights Control // 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. USA, Anchorage, 2012.

### Kustenko Alexander Alexandrovich

Belarusian National Technical University (BNTU)  
Adress: 220000, Belarus, Minsk, Independence Avenue, 65  
Master  
E-mail: alexk1981@mail.ru

### Kapsky Denis Vasilievich

Belarusian National Technical University (BNTU)  
Adress: 220000, Belarus, Minsk, Independence Avenue, 65  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: d.kapsky@gmail.com

УДК 550.385.4:656.085.22

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-3(90)-61-67

И.И. БУСЛАЕВА

**ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНУЮ  
АВАРИЙНОСТЬ В Г. ЯКУТСКЕ**

**Аннотация.** В статье исследовано влияние магнитных бурь на количество дорожно-транспортных происшествий в г. Якутске за период 2020–2024 гг. Анализ данных о геомагнитной активности (индекс  $K_p$ ) и ДТП показал, что в дни с магнитными бурями ( $K_p \geq 5$ ) частота ДТП была значимо выше, чем в дни со спокойным геомагнитным полем. Установлено, что продолжительные магнитные бури оказывали более негативное действие на дорожную аварийность, чем однодневные бури. Результаты работы могут быть использованы для разработки превентивных мер для повышения безопасности дорожного движения.

**Ключевые слова:** магнитные бури, дорожно-транспортные происшествия, геомагнитный индекс  $K_p$ , солнечная активность, безопасность дорожного движения

**Введение**

Дорожно-транспортная аварийность является социально-значимой проблемой, связанной со множеством разнообразных факторов. Для её решения необходим комплексный подход, учитывающий технические, природно-климатические, человеческие и организационные аспекты. В целях выработки мероприятий, направленных на снижение количества аварий, в первую очередь, следует определить причины дорожных транспортных происшествий (ДТП). В Якутске большинство дорожных аварий связаны с человеческим фактором: несоблюдение скоростного режима и очерёдности движения, нарушения правил обгона и т.д. [1]. Таким образом безопасность на дорогах во многом определяется психоэмоциональным и физическим состоянием водителей и пешеходов.

Существуют факторы, влияние которых на дорожную безопасность, изучено мало, как, например, магнитные бури. Изменения активности Солнца вызывают вариации в магнитосфере, ионосфере, атмосфере и даже опосредованно в литосфере Земли. Для активности Солнца характерен 11-летний цикл, в течение которого постепенно увеличивается, а потом уменьшается количество солнечных пятен, вспышек и корональных выбросов массы [2]. Когда корональная масса с поверхности Солнца достигает Земли, она взаимодействует с магнитным полем планеты, индуцируя сильные магнитные бури (МБ) – серьезные возмущения геомагнитного поля [3]. Также МБ вызывает солнечный ветер при усилении скорости потока частиц и сопутствующего магнитного поля.

Магнитные бури могут возбуждать токи в линиях электропередач, вызывая перегрузку трансформаторов и другие проблемы в энергосистемах [4]. Если светофоры не имеют резервных источников питания, то при отключении электроэнергии возрастает вероятность аварий и заторов на регулируемых перекрестках. Изменения в ионосфере при МБ могут препятствовать распространению радиоволн, что ведет к ухудшению качества радиосвязи. Влиянию магнитных бурь подвержены также глобальные навигационные спутниковые системы (GPS, ГЛОНАСС и др.) и спутниковые системы связи [5]. Искажения сигналов спутников могут приводить к ошибкам в определении местоположения и времени, что критично для транспортных систем. Таким образом, влияние магнитных бурь на технические системы является общепринятым фактом, особенно после масштабных геомагнитных бурь, таких как Хэллоуинские бури в октябре 2003 года [6]. Исследований, статистически подтверждающих зависимость между частотой ДТП и геомагнитными возмущениями, пока недостаточно, чтобы в обществе сформировалась идея учитывать фактор магнитных бурь для повышения безопасности дорожного движения. Причинами этого могут быть сложность учета и трудности

дифференцирования всех факторов, влияющих на дорожную аварийность. Хотя исследования, которые проводились в разных странах, показывают взаимосвязь между временными изменениями геомагнитного поля и увеличением числа ДТП [7]. С учётом серьезных последствий ДТП для общества и экономики эта тема является актуальной для дальнейших исследований, при этом необходимо принимать во внимание региональную специфику. Так, Якутск находится в субавроральной зоне ( $62^\circ$  с. ш.), что делает его более подверженным воздействию космической погоды. Из-за особенностей географического положения относительно Северного магнитного полюса в районе Якутска магнитные силовые линии Земли искривлены, что усиливает проникновение заряженных частиц от Солнца. Это имеет геофизические последствия в виде увеличения интенсивности геомагнитных бурь, которые связаны с усилением потока заряженных частиц.

До сих пор спорными являются медицинские исследования о влиянии магнитных бурь на психическое и физическое здоровье людей. Это связано с тем, что реакции человека на МБ во многом индивидуальны, то есть зависят от его психофизиологического состояния и адаптационных возможностей. При магнитных бурях субъективно отмечаются головная боль, утомляемость, увеличение стресса, вызывая у участников дорожного движения снижение внимания и увеличивая время реакции, что может создавать опасные ситуации на дорогах. В работе [8] сделан вывод, что увеличение числа острых сердечно-сосудистых состояний связано с изменениями активности магнитного поля Земли, Солнца, космических лучей, которые могут быть рассмотрены как существенные факторы в регулировании человеческого гомеостаза. Исследование 33 пациентов с артериальной гипертензией 1 и 2 степени и 114 здоровых людей показало, что примерно 60 % больных и 40 % здоровых реагируют на действие геомагнитной активности изменением динамики артериального давления [9]. Но большинство опубликованных работ на эту тему сводится к сопоставлению статистики о регистрируемых медицинских случаях с зафиксированными вспышками на Солнце и магнитными бурями [10], хотя есть исследования, где изучается механизм этого влияния. Так, например, авторы статьи [11] на основе экспериментальных исследований установили, что «реакция организма человека на резкие изменения солнечной активности имеет форму и характерные фазы адаптационной стресс-реакции».

Вышеизложенное позволяет предположить, что в силу особенностей магнитного поля Земли в зоне расположения г. Якутска возможно более заметное проявление влияния магнитных бурь на число ДТП. Цель работы – установить степень влияния магнитных бурь на частоту ДТП в г. Якутске.

#### **Материал и методы**

Для анализа влияния магнитных бурь на частоту ДТП в Якутске рассматривались события за период с 2020 по 2024 гг.

Солнечную активность характеризуют солнечные пятна – темные области, которые являются результатом интенсивного магнитного потока, выталкиваемого из глубины Солнца. Они являются наиболее вероятными источниками значительных событий космической погоды, таких как солнечные вспышки и корональные выбросы массы. Поэтому для характеристики солнечной активности используются числа Вольфа (относительное цюрихское число солнечных пятен). Для каждого из 1827 дней рассматриваемого периода по данным сайта Мирового центра данных по солнечно-земной физике [12] была составлена таблица чисел Вольфа.

Также для анализа использовался планетарный геомагнитный индекс  $K_p$ , количественно оценивающий интенсивность геомагнитных возмущений, вызванных солнечной активностью. Индекс  $K_p$  вычисляется на основе данных, полученных из нескольких магнитных обсерваторий по всему миру, которые измеряют локальные изменения магнитного поля Земли (индекс  $K$ ) [13]. Затем эти данные усредняются и преобразуются в планетарный индекс  $K_p$ , отражающий уровень геомагнитной активности на глобальном уровне. Значения индекса варьируют от 0 (спокойная геомагнитная обстановка) до 9 (экстремально сильная магнитная

буря) [14]. В диапазоне значений от 0 до 3 магнитное поле Земли считается спокойным, а при  $Kp = 4$  – уже возмущенным. Значения индекса 5 и выше указывают на магнитную бурю, которая может влиять на здоровье людей (особенно метеозависимых) и работу технических систем. По данным сайта «Spaceweatherlive» [15], предоставляющего сведения о космической погоде, была сформирована таблица ежедневных значений планетарного геомагнитного индекса  $Kp$  за 2020-2024 гг.

В базе данных, составленной по карточкам учета дорожно-транспортных происшествий ГИБДД, за рассматриваемый период в Якутске зарегистрировано 1910 ДТП с пострадавшими. В таблице 1 данные базы сгруппированы по месяцам и годам. Как известно, общее количество ДТП значительно меняется по календарным месяцам, что связано с сезонными изменениями плотности трафика, состояния дорог, освещенности и т.д. Такая изменчивость прослеживается и в статистике ДТП в Якутске.

Таблица 1 – Дорожно-транспортная аварийность в Якутске 2020-2024 гг.

Месяц	2020	2021	2022	2023	2024	Среднее за месяц
Январь	28	22	21	14	24	21,8
Февраль	31	31	17	30	27	27,2
Март	21	25	24	26	21	23,4
Апрель	7	24	26	38	34	25,8
Май	26	26	35	38	44	33,8
Июнь	27	34	44	42	41	37,6
Июль	34	31	44	44	33	37,2
Август	52	41	38	44	53	45,6
Сентябрь	48	48	30	50	25	40,2
Октябрь	23	33	34	48	39	35,4
Ноябрь	21	22	31	32	21	25,4
Декабрь	29	32	26	36	20	28,6
Общее количество	347	369	370	442	382	
Среднее за год	28,92	30,75	30,83	36,83	31,83	

Для анализа использовались математические методы обработки временных рядов, включая корреляционный и спектральный анализ. Ежедневное количество дорожных аварий с последствиями в Якутске за рассматриваемый период (1827 дней) варьирует в пределах от нуля до шести: дней без ДТП было 665 (36 %), с одним ДТП – 653 (36,4 %), с двумя – 333 (18,2 %), с тремя – 130 (7,1 %), с четырьмя – 33 (1,8 %), с пятью – 9 (0,5 %) и с шестью – 4 (0,2 %). Поэтому временной ряд ДТП состоит в основном из нулей, единиц, двоек и троек (остальные значения встречаются редко) и представляет собой ряд с ограниченным диапазоном значений. Ряд ДТП был проанализирован на предмет корреляции с временными рядами чисел Вольфа и планетарного геомагнитного индекса  $Kp$  в программе MS Excel, но связи между ними статистически не подтвердились. При разложении этих временных рядов в ряды Фурье с помощью программы, написанной в математическом пакете MathCad, их спектры и периоды основных гармоник существенно различаются. Поэтому для выявления влияния МБ на дорожную аварийность использовались классические методы математической статистики.

### Теория / Расчет

Для сравнения уровня аварийности в дни с магнитными бурями ( $Kp \geq 5$ ) и в дни со спокойной геомагнитной обстановкой ( $Kp < 5$ ) данные были разделены на две выборки. Из 1827 дней периода наблюдения за 188 дней с повышенным планетарным геомагнитным индексом в Якутске произошло 225 ДТП (в среднем 1,197 в день), а за 1639 магнитно-спокойных дней – 1685 (1,028). Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями в MS Excel показал статистическую значимость различий между средними значениями двух выбо-



рок – полученный  $p$ -уровень имеет значение 0,039, меньшее уровня значимости  $\alpha = 0,05$ , что позволяет отвергнуть гипотезу о равенстве средних. Это указывает на то, что различия между выборками не являются случайными, то есть в дни магнитных бурь частота ДТП в Якутске повышена значимо по сравнению с фоновым значением.

Также в MS Excel была выполнена фильтрация данных по значениям планетарного геомагнитного индекса  $Kp$  и для каждого его значения определены количества дней действия и числа ДТП (таблица 2). Интенсивность ДТП значимо возрастает при экстремально сильных магнитных бурях со значениями индекса 8 и 9 (примерно на 40-90 %) по сравнению со средним уровнем за весь период наблюдения. Это подчеркивает важность учета уровня геомагнитных возмущений при оценке их влияния на безопасность дорожного движения. Возможно, небольшое число случаев ДТП при сильных магнитных бурях связано с тем, что в ГИБДД фиксируют только серьезные происшествия, но вполне вероятно, что в дни с повышенным геомагнитным индексом  $Kp$  происходит больше аварий, но при небольшом ущербе и без пострадавших участники ДТП ограничиваются обращениями в страховые компании для возмещения ущерба без вызова сотрудников Госавтоинспекции.

Таблица 2 – Дорожно-транспортная аварийность в Якутске 2020-2024 гг.

Индекс $Kp$	Количество дней	Суммарное количество ДТП	Интенсивность ДТП
9	3	6	2
8	8	12	1,5
7	14	9	0,64
6	36	38	1,06
5	127	160	1,26
$\leq 5$	1639	1685	1,03
Итого	$\Sigma=1827$	$\Sigma=1910$	1,05

Магнитные бури длятся от нескольких часов до нескольких дней, постепенно проходя через этапы возникновения, нарастания и спада [16]. Влияние продолжительных магнитных бурь на дорожную аварийность изучено меньше, чем влияние бурь без учета их длительности. Но можно предположить, что продолжительная буря оказывает более значительное воздействие на частоту ДТП, чем кратковременные события. Из-за накопительного эффекта и длительного воздействия продолжительных МБ на людей, особенно со сниженными адаптационными возможностями вследствие болезней или возраста, может ухудшаться их психоэмоциональное состояние и самочувствие, и соответственно снижаться концентрация в дорожной ситуации и время реагирования. Поэтому исследовано влияние продолжительных магнитных бурь (повышение планетарного индекса выше 4 в течение двух и более дней) на ДТП в Якутске. Если между датами МБ был один день с индексом  $Kp < 5$ , то они объединялись в серию МБ, таких объединенных серий за время наблюдения было 11. В дальнейшем и непрерывные продолжительные магнитные бури рассматриваются здесь как серии бурь.

### Результаты и обсуждение

За четырёхлетний период серии МБ наблюдались 49 раз, их параметры и соответствующие количества ДТП приведены в таблице 3. В первой строке этой таблицы для сравнения приведены данные для характеристики однодневных магнитных бурь; их частота превалировала во временной структуре значительных геомагнитных возмущений за четырёхлетний период (58 %). Интересно, что интенсивность ДТП во время однодневных бурь 1,01 ниже среднего уровня за весь период (1,05) и даже ниже фонового значения (1,03). Среднее значение планетарного геомагнитного индекса для однодневных МБ составляет всего 5,32, так как в основном происходили магнитные бури с индексом  $Kp = 5$  (79,7 %).

Таблица 3 – Магнитные бури и ДТП в Якутске за 2020-2024 гг.

Продолжительность МБ, в днях	Частота за период	Общее число дней МБ	Количество ДТП	Интенсивность ДТП	Среднее значение $K_p$
1	69	69	70	1,01	5,32
2	25	50	63	1,26	5,60
3	16	48	56	1,17	5,31
4	4	16	16	1	5,69
5	3	15	21	1,4	5,25
7	1	7	12	1,71	6,29
Для серий МБ	$\Sigma=49$	$\Sigma=136$	$\Sigma=168$	1,24	5,63
Всего	$\Sigma=118^*$	$\Sigma=205^*$	$\Sigma=238^*$	1,16*	

Примечание: \* – здесь учтены данные в дни между МБ с  $K_p < 5$ , включенные в серии МБ.

Продолжительность серий МБ варьировала от 2 до 7 дней; чаще наблюдались двухдневные серии – 25 событий (21 %) и трехдневные – 16 (14 %). По таблице 3 видно, что во время серий МБ дорожная аварийность значительно повышалась. Средняя интенсивность ДТП в дни серий МБ (1,24) существенно превышает среднюю интенсивность за весь период (1,05) и интенсивность в дни однодневных МБ (1,01). Пороговый эффект замечен уже при продолжительности серии МБ, равной двум дням. С увеличением продолжительности магнитных бурь имеется тенденция на рост частоты ДТП. Максимум интенсивности аварий наблюдается при 7-дневной серии – 1,71 ДТП/день. Анализ данных на предмет связи средних для серий МБ значений индекса  $K_p$  с интенсивностью ДТП не дает однозначных ответов, что можно объяснить недостаточностью числа данных по сериям МБ продолжительностью четыре дня и больше. Но среднее значение планетарного индекса для всех серий магнитных бурь составляет 5,63, что заметно выше среднего значения индекса для однодневных МБ (5,32). Это позволяет сделать вывод о наличии связи между интенсивностью продолжительных магнитных бурь и увеличением уровня дорожно-транспортной аварийности. В дальнейшем, вероятно, следует учесть кумулятивный эффект продолжительных геомагнитных возмущений и расширить период наблюдений.

### Выводы

Исследование влияния магнитных бурь на дорожно-транспортную аварийность представляет собой междисциплинарную задачу, которая объединяет данные геофизики, медицины, психологии и транспортной безопасности. Магнитные бури, вызванные солнечной активностью, могут оказывать влияние на поведение водителей и пешеходов, работу технических систем дорожной инфраструктуры и общую обстановку на дорогах.

В исследованиях необходимо учитывать особенности магнитного поля Земли в конкретной местности. Близость Якутска к зоне сильного влияния магнитных бурь делает людей более уязвимыми к воздействию космической погоды.

Статистическим анализом установлено, что в Якутске за период 2020-2024 гг. в дни магнитных бурь (планетарный геомагнитный индекс  $K_p \geq 5$ ) частота ДТП значимо повышена по сравнению с днями со спокойной геомагнитной обстановкой (1,197 ДТП/день против 1,028 при  $K_p < 5$ ).

Наибольший рост дорожной аварийности (до 40–90 %) наблюдался при экстремальных магнитных бурях ( $K_p = 8–9$ ).

Установлено, что серии магнитных бурь влияют на дорожную аварийность сильнее по сравнению с однодневными магнитными бурями. Во время магнитных бурь, длящихся несколько дней или следующих друг за другом через день, средняя интенсивность ДТП была повышена до 1,24 случая в день, что примерно на 18 % выше фоновых значений (1,03). С увеличением длительности серий магнитных бурь в основном наблюдается увеличение ко-

личества дорожно-транспортных происшествий, что вероятно связано с истощением адаптационных возможностей человеческого организма, приводящим к снижению скорости сенсорных реакций и способности к длительному концентрированию внимания у участников дорожного движения.

Общественное признание влияния магнитных бурь на дорожно-транспортную аварийность может привести к разработке практических мер по повышению безопасности на дорогах. Например, таких как внедрение в практику системы оповещения участников дорожного движения о приближении магнитных бурь.

Влияние серий магнитных бурь на безопасность дорожного движения требует дальнейшего изучения для лучшего понимания механизмов воздействия геомагнитных возмущений. Для более точной оценки масштабов этого влияния необходимо принять во внимание данные о ДТП без пострадавших из страховых компаний. Также необходимы медицинские исследования адаптационных возможностей организма для разработки рекомендаций для водителей и пешеходов с хроническими заболеваниями.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буслаева И.И. Анализ дорожно-транспортных происшествий в Якутске // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы международной научно-технической конференции. Тюмень: Тюменский индустриальный университет. 2017. С. 62–66. EDN YOVCQR.
2. Наговицын Ю.А. Глобальная активность Солнца на длительных временах // Астрофизический бюллетень. 2008. №1. С. 45–58.
3. Ермолаев Ю.И., Ермолаев М.Ю. Солнечные и межпланетные источники геомагнитных бурь: аспекты космической погоды // Геофизические процессы и биосфера. 2009. Т. 8. №1. С. 5–35.
4. Пилипенко В.А. Воздействие космической погоды на наземные технологические системы // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7. №3. С. 72–110. DOI 10.12737/szf-73202106. EDN EZKKMO.
5. Kusano K. (eds). Solar-Terrestrial Environmental Prediction. Singapore: Springer. 2023. 470 P. DOI: 10.1007/978-981-19-7765-7\_1.
6. Cid C., Saiz E., Guerrero A. et al. A Carrington-like Geomagnetic Storm Observed in the 21st Century // Space Weather Space Clim. 2015. №5. A16. DOI:10.1051/swsc/2015017.
7. Stoupe E., Babayev E.S., Shustarev P.N., et al. Traffic accidents and environmental physical activity // International Journal of Biometeorology. Berlin: Springer. 2009. Vol. 53. P. 523–534. DOI: 10.1007/s00484-009-0240-5.
8. Штупель Э., Бабаев Э.С., Мустафа Ф.Р. и др. Две группы острых сердечных приступов и физической активности окружающей среды // Солнечно-земная физика. 2008. Вып. 12. Т.2. С. 354–359.
9. Зенченко Т.А. Методика анализа временных рядов данных в комплексной оценке метеоро- и магниточувствительности организма человека // Экология человека. 2010. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-analiza-vremennyh-ryadov-dannyh-v-kompleksnoy-otsenke-meteoi-magnito>.
10. Крылов В.В. Биологические эффекты геомагнитной активности: наблюдения, эксперименты и возможные механизмы // Труды ИБВВ РАН. 2018. Вып. 84 (87). С. 7–38.
11. Любимов В.В., Рагульская М.В., Хабарова О.В. Влияние изменения естественного магнитного поля на биологически активные точки человека: организм человека как детектор магнитных бурь // Медицинская физика. 2005. №1(25). С. 46–55. EDN KASDPN.
12. Солнечные пятна [Электронный ресурс] / Всемирная служба данных по солнечно-земной физике (WDCB). URL: <http://www.wdcb.ru/stp/solar/sunspots.ru.html>.
13. Петров В.Г., Гамза Е.И. Оценка планетарных индексов геомагнитной активности по данным отдельных магнитных обсерваторий российского сектора // Геомагнетизм и аэрономия. 2021. Т. 61. №4. С. 468–477. DOI 10.31857/S001679402104012X. EDN LIZYGX.
14. Куражковская Н.А. Глобальная возмущенность магнитосферы Земли и ее связь с космической погодой // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6. №1. С. 51–62. DOI 10.12737/szf-61202005. EDN NVUEWI.
15. Архив космической погоды за декабрь 2024 года [Электронный ресурс] / SpaceWeatherLive. URL: <https://www.spaceweatherlive.com/ru/arhiv/2024/12.html>.
16. Ожередов В.А., Бреус Т.К. Новые подходы к статистическому анализу рядов длительных наблюдений гелиогеомагнитной активности и медико-биологических реакций на нее // Геофизические процессы и биосфера. 2008. Т. 7. №1. С. 7–31.

**Буслаева Ирина Ивановна**

Якутский научный центр сибирского отделения российской академии наук

Адрес: 677000, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

К.т.н., зав. отделом ритмологии и эргономики северной техники

E-mail: buslajeva@mail.ru

I. I. BUSLAEVA

## THE IMPACT OF MAGNETIC STORMS ON ROAD TRAFFIC ACCIDENTS IN YAKUTSK

**Abstract.** This article explores the influence of geomagnetic storms on road traffic accident frequency in Yakutsk during the period of 2020-2024. Analysis of data on geomagnetic activity ( $K_p$ -index) and road accidents revealed that the accident rates was significantly higher during magnetic storms ( $K_p \geq 5$ ) compared to days with quiet geomagnetic conditions. The study established that prolonged geomagnetic storms had a more negative effect on road accident rates than one-day storms. The results of the study can be used to develop preventive measures to improve road safety.

**Key words:** geomagnetic storms, road accidents,  $K_p$ -index, solar activity, road safety

### BIBLIOGRAPHY

1. Buslaeva I.I. Analiz dorozhno-transportnykh proissheshtviy v YAkutске // Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Tyumen': Tyumenskiy industrial'nyy universitet. 2017. S. 62-66. EDN YOVCQR.
2. Nagovitsyn YU.A. Global'naya aktivnost' Solntsa na dlitel'nykh vremenakh // Astrofizicheskiy byulleten'. 2008. №1. S. 45-58.
3. Ermolaev YU.I., Ermolaev M.YU. Solnechnye i mezhplanetnye istochniki geomagnitnykh bur': aspekty kosmicheskoy pogody // Geofizicheskie protsessy i biosfera. 2009. T. 8. №1. S. 5-35.
4. Pilipenko V.A. Vozdeystvie kosmicheskoy pogody na nazemnye tekhnologicheskie sistemy // Solnechno-zemnaya fizika. 2021. T. 7. №3. S. 72-110. DOI 10.12737/szf-73202106. EDN EZKKMO.
5. Kusano K. (eds). Solar-Terrestrial Environmental Prediction. Singapore: Springer. 2023. 470 P. DOI: 10.1007/978-981-19-7765-7\_1.
6. Cid C., Saiz E., Guerrero A. et al. A Carrington-like Geomagnetic Storm Observed in the 21st Century // Space Weather Space Clim. 2015. №5. A16. DOI:10.1051/swsc/2015017.
7. Stoupeľ E., Babayev E.S., Shustarev P.N., et al. Traffic accidents and environmental physical activity // International Journal of Biometeorology. Berlin: Springer. 2009. Vol. 53. P. 523-534. DOI: 10.1007/s00484-009-0240-5.
8. SHtupel' E., Babaev E.S., Mustafa F.R. i dr. Dve gruppy ostrykh serdechnykh pristupov i fizicheskoy aktivnosti okruzhayushchey sredy // Solnechno-zemnaya fizika. 2008. Vyp. 12. T.2. S. 354-359.
9. Zenchenko T.A. Metodika an0aliza vremennykh ryadov dannykh v kompleksnoy otsenke meteo- i magnitochuvstvitel'nosti organizma cheloveka // Ekologiya cheloveka. 2010. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-analiza-vremennykh-ryadov-dannykh-v-kompleksnoy-otsenke-meteoi-magnito>.
10. Krylov V.V. Biologicheskie efekty geomagnitnoy aktivnosti: nablyudeniya, eksperimenty i voz-mozhnye mekhanizmy // Trudy IBVV RAN. 2018. Vyp. 84 (87). S. 7-38.
11. Lyubimov V.V., Ragul'skaya M.V., Habarova O.V. Vliyanie izmeneniya estestvennogo magnitnogo polya na biologicheski aktivnye tochki cheloveka: organizm cheloveka kak detektor magnitnykh bur' // Meditsinskaya fizika. 2005. №1(25). S. 46-55. EDN KASDPN.
12. Solnechnye pyatna [Elektronnyy resurs] / Vsemirnaya sluzhba dannykh po solnechnozemnoy fizike (WDCB). URL: <http://www.wdcb.ru/stp/solar/sunspots.ru.html>.
13. Petrov V.G., Gamza E.I. Otsenka planetarnykh indeksov geomagnitnoy aktivnosti po dannym otel'nykh magnitnykh observatoriy rossiyskogo sektora // Geomagnetizm i aeronomiya. 2021. T. 61. №4. S. 468-477. DOI 10.31857/S001679402104012X. EDN LIZYGX.
14. Kurazhkovskaya N.A. Global'naya vozmushchennost' magnitosfery Zemli i ee svyaz' s kosmicheskoy pogodo-doy // Solnechno-zemnaya fizika. 2020. T. 6. №1. S. 51-62. DOI 10.12737/szf-61202005. EDN NVUEWI.
15. Arkhiv kosmicheskoy pogody za dekabr' 2024 goda [Elektronnyy resurs] / SpaceWeatherLive. URL: <https://www.spaceweatherlive.com/ru/arhiv/2024/12.html>.
16. Ozheredov V.A., Breus T.K. Novye podkhody k statisticheskomu analizu ryadov dlitel'nykh nablyudeniy geliogeomagnitnoy aktivnosti i mediko-biologicheskikh reaktsiy na nee // Geofizicheskie protsessy i biosfera. 2008. T. 7. №1. S. 7-31.

**Buslaeva Irina Ivanovna**

Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Address: 677000, Russia, Yakutsk, Petrovskogo str., 2

Candidate of Technical Sciences

E-mail: buslajeva@mail.ru

А.Г. КИРИЛЛОВ, Р.В. ГОРБУНОВ

## ОБОСНОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬЮ АВТОМОБИЛЕЙ

**Аннотация.** Для повышения качества принимаемых решений предлагается разработка универсального глобального критерия, позволяющего объективно оценивать эффективность оперативного управления эксплуатацией автомобильной техники независимо от отраслевых особенностей предприятия. Данный критерий позволит учитывать совокупность ключевых показателей, влияющих на работоспособность транспорта — от технических характеристик автомобиля до экономических условий и экологической безопасности региона.

**Ключевые слова:** коэффициент готовности, оперативное управление, работоспособность, автомобиль, диагностика

### Введение

Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей до настоящего времени остаётся актуальной задачей. Имеющаяся нормативно-техническая документация позволяет в целом обеспечить реализацию заложенного уровня надёжности автомобильной техники. Однако, различные условия эксплуатации, внешние, да внутренние факторы автотранспортного производства накладывают свой отпечаток на фактический уровень работоспособности автомобильной техники в парках. Наряду с имеющимися технологическими процессами планово-предупредительной системы обеспечения работоспособности подвижного состава автомобильного транспорта появляются альтернативные возможности оперативной оценки технического состояния автомобиля с использованием преимуществ цифровых технологий компьютерного учета работы автомобиля и специального программно-технического комплекса мониторинга показателей его энергетического баланса. Взаимосвязь информационно-диагностических программ и технических средств диагностики позволят оперативно управлять производством технических воздействий по обеспечению повышения уровня работоспособности парка автомобилей.

### Материал и методы

Работоспособность по ГОСТ 27.002-89 «Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения» определяется как состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации. В исследованиях многих ученых-основоположников теории науки технической эксплуатации автомобилей (ТЭА) — Ф.Н. Авдотькина, И.А. Аринина, Е.А. Белякова, Е.В. Бондаренко, А.П. Дунаева, Н.С. Захарова, А.А. Ицковича, Б.С. Клейнера, Г.В. Крамаренко, В.П. Карташова, Е.С. Кузнецова, В.А. Максимова, Л.Г. Резника, Р.В. Ротенберга, А.Г. Сергеева, В.Б. Ухарского, А.М. Харазова и др. был выбран коэффициент технической готовности  $\alpha_T$ , реализуемый во времени в оперативном режиме. Коэффициент готовности  $k_T$  согласно ГОСТ 27.002-89 определяет вероятность нахождения изделия в работоспособном состоянии в некий период его применения по назначению, а коэффициент технического использования  $k_{ТИ}$  учитывает ещё и время на обслуживание, и время на восстановление. Информативность  $k_{ТИ}$  при оценке работоспособности парка автомобилей более комплексна, чем  $k_T$ . Важно знать, что  $k_{ТИ}$  не оценивает весьма существенную часть простоев подвижного состава, зависящую от социальных причин, т. е. человеческого фактора. Предполагая, что комплексные автотранспортные предприятия (АТП)

выполняют две основные функции - перевозку и техническую подготовку автотранспортных средств (АТС) к работе на линии, возникает потребность в отдельной оценке эффективности работы каждой службы внутри предприятия. Разрядка линейной работы автомобилей по плану службы эксплуатации полностью обосновывается готовностью подвижного состава к перевозке в количественном и качественном измерениях. Качественная сторона АТС может быть оценена грузоподъемностью (пассажировместимостью)  $q_i$  в пределах каждой марки  $i$  подвижного состава.

Коэффициент технической готовности отражает производственные, социальные и экономические процессы в подразделениях предприятия в их взаимосвязи и взаимодействии; является итоговым показателем финансово-экономических результатов, характеризующих деятельность предприятия. В общем виде включает в себя факторы, влияющие на эффективность ТЭА парка автомобилей; характеризует общие показатели надёжности элементов автомобилей; косвенно отражает степень участия персонала технической службы. Коэффициент  $\alpha_T$  понятен в определении его значений и отражает несёт полную информацию о ПТС автомобилей.

### Теория / Расчет

Рассмотрим некоторые аспекты выдвигаемых предпочтений. Коэффициент  $\alpha_T$ , определяется по формуле:

$$\alpha_T = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m A_i^{np} \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n A_i \cdot q_i} \quad (1)$$

где  $n$  – число групп (моделей) подвижного состава, отличающихся по качественному признаку – грузоподъемности  $q_i$ ;

$A_i^{np}$  – количество автомобилей  $i$ -й группы, простаивающих во время наряда по техническим причинам;

$A_i$  – списочное количество автомобилей в  $i$ -й группе.

Для каждой группы специальных автомобилей устанавливается определённое число простаивающих автомобилей по техническим причинам и соответствующий  $\alpha_T$  с учетом потребностей перевозочного процесса. Тогда  $\alpha_{Tj}$  - й специализации

$$\alpha_{Ti}^{cp} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m A_{cpij}^{np} \cdot q_{cpij}}{\sum_{j=1}^m A_{cpij} \cdot q_{cpij}} \quad (2)$$

где  $m$  – количество различных марок АТС в  $j$ -й специализации;

$A_{cpij}^{np}$  – количество простаивающих АТС  $j$ -й специализации  $i$ -й марки;

$A_{cpij}$  – списочное количество АТС  $j$ -й специализации  $j$ -й марки;

$q_{cpij}$  – грузоподъемность АТС  $j$ -й специализации  $i$ -й марки.

Комплексные процессы, связанные с технической службой предприятия, находят свое выражение в  $\alpha_T$  через временные показатели  $T_i$ , определяющие продолжительность простоя подвижного состава по техническим причинам в сменное время

$$\alpha_T(t) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n A_i^{np} \cdot q_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n A_i \cdot q_i \cdot T_H} \quad (3)$$

где  $T_H$  – среднее время нахождения автомобиля в наряде.

$$T_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (4)$$

где  $t_{ij}$  – продолжительность простоя  $j$ -го автомобиля  $i$ -й группы. Это время зависит от множества факторов как внутренних (управляемых), так и внешних, учитываемых, но не управляемых со стороны подразделений предприятия.

Временные показатели  $t_{ij}$ , определяемые оперативно с применением средств информационных технологий (ИТ), позволяют повысить динамичность  $\alpha_T$  в оперативном плане, тем самым сделать его глобальным критерием целевой функции управления технической службой АТП.

Увеличения  $\alpha_t$  складывается из изменения переменных значений числителя формулы (3):  $A_i^{pp}$ ,  $T_i$ . Уменьшение значений  $t_{ij}$  может быть получено при анализе возможных состояний нахождения АТС в рассматриваемый календарный период  $T$  [1]. Дерево возможных состояний автомобиля в процессе эксплуатации приведено на рисунке 1.

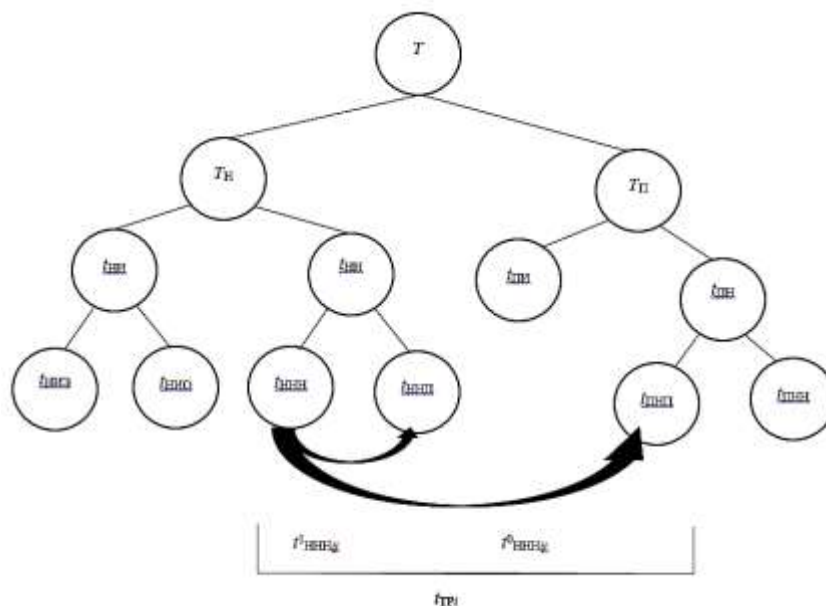


Рисунок 1 – Дерево возможных состояний автомобиля в процессе эксплуатации

На рисунке 1 использованы следующие обозначения:  $T$  – календарная продолжительность периода эксплуатации АТС (час, день, декада, месяц),  $T_H$  – время в наряде АТС (планируемое время работы на линии),  $t_{HI}$  – интервал времени автомобиля в исправном состоянии,  $t_{HN}$  – интервал времени автомобиля в неисправном состоянии,  $t_{HИЭ}$  – интервал времени автомобиля в исправном состоянии при эксплуатации на линии,  $t_{HИО}$  – интервал времени автомобиля в исправном состоянии, но без эксплуатации на линии,  $t_{HНП}$  – интервал времени автомобиля в плановом ТО и Р во время  $T_H$ ,  $t_{HНН}$  – интервал времени автомобиля при устранении отказа во время  $T_H$ ,  $T_П$  – нерабочее время (межсменное время),  $t_{ПИ}$  – интервал времени автомобиля во время  $T_П$  в исправном состоянии (хранение),  $t_{ПН}$  – интервал времени автомобиля в неисправном состоянии во время  $T_П$ ,  $t_{ПНП}$  – интервал времени автомобиля в плановом ТО или Р во время  $T_П$ ,  $t_{ПНН}$  – интервал времени автомобиля в текущем ремонте во время  $T_П$  (устранение отказа).

Повышение значения глобального критерия  $\alpha_t$  возможно за счет уменьшения (устранения полностью) периодов времени  $t_{HННi}$   $i$ -го автомобиля при простоях в течение времени наряда  $T_H$  по причине отказов [2]. Трудоемкости работ  $t_{ТРi}$ , реализуемых за время  $t_{HННi}$ , необходимо разнести на другие периоды эксплуатации, в которые применение АТС для эксплуатационной работы не планируется (за пределы расписания  $T_H$ ). Диагностика обеспечивает обоснование переноса работ  $t_{ТРi}$  на другие промежутки времени. Целью диагностирования в данном случае является уточнение объемов работ. Расчет продолжительности вынужденного простоя по техническим причинам выполняется по формуле:

$$t_{HНН} = t_{HННij}^0 + t_{HННij}^1, \quad (5)$$

где  $t_{HНН}^0$  – время устранения отказа при трудоемкости  $t_{ТРi}$ , не требующее перекрытия расписания времени  $T_H$  (при этом  $t_{HННij}^1$ );

$t_{HННij}^1$  – время устранения отказа при трудоемкости  $t_{ТРi}$ , требующее целодневного простоя и затрагивающее расписание  $T_H$  (при этом  $t_{HННij}^0 = 0$ ).

Стратегия обеспечения работоспособности оказывает влияние на перераспределение

работ. При стратегии 1 выполнения ТВ по проявлению отказа трудоёмкость работ  $t_{\text{TPi}}$  дополняется трудовыми затратами на транспортировку к месту ремонта, перегрузку груза, диагностические работы по уточнению фактических значений параметров. Другая стратегия (стратегия 2) – профилактическая, которая предусматривает предполагает предупреждение отказов до того, как будет достигнуто предельное состояние параметров технического состояния (ПТС) элементов. Возможны два исхода стратегии 2: планирование ТВ по наработке  $L_0$  с доведением ПТС до нормы; планирование контроля ПТС по наработке  $L$  с доведением до нормы в зависимости от фактического и допустимого значений ПТС.

При стратегии 2 профилактическая операция в общем виде состоит из двух частей – контрольной и исполнительской:

$$t_{\text{П}} = t_{\text{К}} + kt_{\text{И}}, \quad (6)$$

где  $t_{\text{П}}$  – трудоёмкость профилактических работ,  $t_{\text{К}}$  – трудоёмкость контрольных (диагностических) работ;

$k$  – коэффициент повторяемости исполнительской части операции;

$kt_{\text{И}}$  – трудоёмкость исполнительской части операции.

Сама контрольная часть операции  $t_{\text{К}}$  может быть назначена с регламентной периодичностью  $L_{\text{К}}$ , когда проводится контроль ПТС и принимается решение о необходимости выполнения работ  $t_{\text{И}}$ . При организации текущего контроля ПТС в оперативном режиме (встроенными контрольно-диагностическими средствами или методами статистической диагностики с использованием информационных технологий), то жесткое регламентирование по пробегу  $L_{\text{К}}$  можно не устанавливать [3]. Назначать момент контроля по пробегу инструментальными средствами на  $t_{\text{К}}$  можно с использованием средств программного технического комплекса по обоснованному значению обобщенного ПТС по показателям информационно диагностической программы (ИДП). При этом необходимая трудоёмкость исполнительной части  $t_{\text{И}}$  (меньше  $t_{\text{TPi}}$  по проявлению отказа) может быть перенесена (спланирована) в межсменное время [4]. Тем самым сократится время  $t_{\text{HNNij}}$  (рис. 1) и  $A_i^{\text{пп}}$  в течение периода времени  $T_{\text{H}}$ .

Таким образом, за целевой норматив управления работоспособностью автомобилей может быть принято положительное приращение  $\alpha_{\text{T}}$  за счет уменьшения составляющих  $A_i^{\text{пп}}$ ,  $T_i$  формулы (7):

$$\Delta\alpha_{\text{T}} = \alpha_{\text{T}}^* - \alpha_{\text{T}}, \quad (7)$$

где  $\alpha_{\text{T}}^*$  – значение  $\alpha_{\text{T}}$  после выполнения этапов управляющих воздействий. При этом возникают задачи определения обобщенного ПТС и необходимость построения алгоритма ИДП с использованием накопленной базы данных компьютерного учета работы подвижного состава парка автомобилей АТП [5].

### Результаты и обсуждение

Реализация стратегии поддержания работоспособного состояния АТС по контролю ПТС накладывает определенные требования на методику и средства определения текущего значения ПТС. Учитывая, анализ классификации диагностических параметров, можно выбрать в качестве обобщенного параметра технического состояния автомобиля его расход топлива [6]. Обобщённый параметр технического состояния – это диагностический параметр (ДП), характеризующий техническое состояние нескольких составных частей объекта. Использование обобщённых параметров позволяет снизить трудоёмкость диагностирования, особенно при заявочном (внеплановом) техническом обслуживании объекта. Таким образом, по определению обобщенный параметр – это параметр, включающий в себя параметры состояния элементов, непосредственно в него входящих. В научных работах ряда авторов расход топлива автомобилем рассматривается как обобщенный параметр его технического состояния, затрагивающий энергетические потери на отклонение ПТС от номинальных значений [7]. ДП косвенно характеризует работоспособность объекта диагностирования. «Косвенность» (или обобщенность) можно определить по связи ДП со структурными параметрами,



симптомы которых он проявляет. Тесноту связи («косвенность») можно оценить коэффициентом структурной информативности

$$k_{\text{СИ}} = \frac{1}{N_{\text{СП}}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где  $N_{\text{СП}}$  – количество структурных параметров, оцениваемых соответствующим диагностическим.

Чем меньше значение  $k_{\text{СИ}}$ , тем более обобщенным является выделенный диагностический параметр. Номенклатура ДП, выбранных согласно ГОСТ 23435-79 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров», ГОСТ 26048-83 «Техническая диагностика. Системы тормозные автомобилей, тракторов и монтируемых на их базе строительных и дорожных машин. Номенклатура диагностических параметров», приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь диагностических и структурных параметров автомобиля

Метод диагностирования	Кси, %
Диагностический параметр	
Структурный параметр	
1	2
1. Метод общего диагностирования по энергетическим показателям	
1.1. Мощность на ведущих колесах автомобиля на прямой передаче при V=50, 60, 90 км/ч, кВт.	
Эффективная мощность ДВС, кВт; Боковой зазор в зацеплении шестерен КП, мм; Уровень и качество смазки КП; Зазор в подшипниках ГП, мм; Боковой зазор в зацеплении шестерен, мм; Зазор в тормозных механизмах ведущих колес (колодка-барабан, диск), мм. Зазор в подшипниках ступиц колес, мм; Давление воздуха в шинах, МПа;	12,5
1.2. Мощность, затрачиваемая на прокручивание двигателя, кВт.	
Мощность механических потерь двигателя, кВт; Компрессия в цилиндрах, МПа; Зазор в цилиндропоршневой группе, мм; Зазоры в ГРМ, мм. а) клапан-седло, б) направляющая втулка-стержень Фазы газораспределения, град ПКВ.	20,0
1.3. Усилие для прокручивание не заторможенных колес, Н.	
Зазор в тормозных механизмах колес, мм; Зазор в подшипниках ступиц колес, мм; Углы установки управляемых колес, град; Углы наклона оси поворота колес, град; Перенос мостов, град.	20,0
1.4. Мощность, затрачиваемая на прокручивание трансмиссии и ведущих колес автомобиля, кВт.	
Зазор в подшипниках главной передачи, мм; Боковой зазор в шестернях главной передачи, мм; Уровень и качество смазки агрегатов; Перекос мостов, град; Параллельное относительное смещение мостов, мм.	20,0
1.5. Боковая сила на передних колесах, Н.	
Углы установки управляемых колес, град; Углы оси поворота управляемых колес, град; Давление в шинах, МПа.	33,3
1.6. Установившаяся температура охлаждающей жидкости агрегата, °К.	
Зазоры в подшипниках, мм; Боковой зазор шестерен, мм; Уровень и качество смазки; Состояние приборов терморегулирования.	25,0
1.7. Содержание СО и дымность отработанных газов, T <sub>0</sub>	
Удельный расход топлива, кг/с, кг/кВт*ч; Пропускная способность главных топливных жиклеров, см <sup>3</sup> (диаметр-мм); Пропускная способность воздушных жиклеров, см <sup>3</sup> ; Уровень топлива в поплавковой камере, мм; Герметичность клапанов экономайзера и ускорительного насоса; Пропускная способность воздушного жиклера системы холостого хода, см <sup>3</sup> ; Состояние привода управления системами карбюратора; Давление топливного насоса, МПа; Загрязнение воздухоочистителя; Производительность топливного насоса, кг/ч; Угол опережения впрыска топлива, град ПКВ; Цикловая подача форсунки, г/цикл (мм <sup>3</sup> /цикл); Начальный угол опережения зажигания, град; Угол опережения зажигания, создаваемый центробежным или вакуумным автоматом, град; Угол ПКВ двигателя, соответствующий замкнутому состоянию контактов прерывателя, град; Электрическая емкость конденсатора, мкФ; Зазор между электродами свечи, мм; Вторичное электрическое напряжение, кВ; Пробивное напряжение изоляции высокого напряжения, кВ; Установившаяся температура охлаждения поверхности двигателя °С.	5,0
1.8. Расход топлива, кг/ч, на режиме холостого хода	
То же самое что и в пункте 1.7	
1.9. Расход топлива, кг/ч, при работе под нагрузкой при скорости V= 50 км/ч.	

1	2
То же самое что в пунктах 1.1 и 1.7	3,6
2. Выбродиагностический метод диагностирования	
2.1. Характеристики вибрации двигателя, уровень вибрации (виброускорение (м/с <sup>2</sup> )), виброскорость, м/с, уровень шума, дБ.	
Зазор между поршнем и кольцом по высоте канавки, мм; Зазор между цилиндром (гильзой цилиндра) и поршнем в верхнем поясе, мм; Зазор между шейками коленчатого вала и коренными подшипниками, мм; Зазор между шейками коленчатого вала и шатунными подшипниками, мм; Зазор между поршневым пальцем и втулкой верхней головки шатуна, мм; Фазы газораспределения, град. ПКВ; Износ направляющих втулок клапанов, мм; Зазор между клапаном и седлом, мм; Зазор между клапаном и его приводом, мм.	11,1
2.2. Характеристики вибрации системы питания дизельного двигателя, м/с <sup>2</sup> (м/с, дБ)	
Зазор между втулкой и поршнем топливоподкачивающего насоса, мм; Производительность топливного насоса, кг/ч; Зазор по разгрузочному пояску нагнетательного клапана, мм; Жесткость пружины форсунки, Н/м; Угол опережения впрыска топлива, град ПКВ; Цикловая подача форсунки, г/цикл.	16,7
2.3. Характеристики вибрации трансмиссии автомобиля, м/с <sup>2</sup> (м/с, дБ)	
Зазор боковой в зацеплении шестерен главной передачи, мм; Зазор в подшипниках главной передачи, мм; Биение карданного вала, мм; Боковой зазор в зацеплении шестерен КП, мм; Зазор в подшипниковых узлах КП, мм; Биение колес, мм.	16,7
2.4. Вибрация кузова м/с <sup>2</sup>	
Состояние и характеристика амортизаторов; Состояние упругого элемента подвески; Состояние соединений элементов подвески; Крепление и балансировка колес	33,3
3. Метод спектрографического анализа	
3.1. Спектральный анализ картерного масла агрегата на концентрацию продуктов износа, г/кг.	
Износ гильз цилиндров, мм; Износ шеек коленчатого вала, мм; Износ подшипников коленчатого вала, мм; Износ поршневых колец, мм; Износ поршня, мм; Герметичность впускного тракта, %; Загрязненность воздухоочистителя, %	14,3

Значения  $k_{\text{СИ}}$  определялись по формуле на основании анализа исходных данных по взаимосвязи ДП со структурными параметрами. Данные таблицы 1 показывают, что наиболее обобщенными параметрами являются расход при работе под нагрузкой и расход топлива на режиме холостого хода. Значения коэффициента структурной информативности для данных диагностических параметров равны соответственно 3,6 и 5,0, что является минимальными значениями из всей представленной номенклатуры параметров.

Численную взаимосвязь обобщенного параметра – расход топлива с параметрами (факторами) технического состояния можно оценить по методике, изложенной в работе [8]. Расширенная номенклатура факторов [9], определяющих расход топлива автомобилем, и оценка их влияния представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка влияния расширенной номенклатуры факторов на расход топлива автомобилем

п/п	Наименование фактора	Обозначение	Увеличение относительного расхода, %		Относительный коэффициент влияния	
			$\Delta q_{\min}$	$\Delta q_{\max}$	$B_{\text{ср}}(i)$ , %	$B_{\text{ср}}(ij)$ , %
1	2	3	4	5	6	7
1	Угол опережения впрыска топлива	$T_{13}$	12	20	5,5	17,6
2	Давление начала подъема иглы форсунки	$T_{15}$	7	8	2,6	8,2
3	Равномерность подачи топлива по цилиндрам	$T_{16}$	8	11	2,9	10,4
4	Цикловая подача форсунки	$T_{31}$	4	8	2,1	6,6
5	Зазоры в цилиндропоршневой группе	$T_{29}$	10	12	3,8	12,1
6	Зазоры в газораспределительном механизме	$T_{30}$	5	7	2,1	6,6
7	Засорение воздушного фильтра	$T_{14}$	6	8	2,4	7,7
8	Отказ в работе первой форсунки	$T_{33}$	8	25	5,7	18,1
9	Неисправность регулятора частоты вращения	$T_{34}$	3	5	1,4	4,4
10	Тепловой режим двигателя	$T_{32}$	3	12	2,6	8,2
Всего по группе двигатель ( $j = 1$ ):			66	116	30,5	100,0

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
11	Пробуксовка сцепления	$T_{17}$	3	5	1,4	18,6
12	Люфт коробки передач	$T_{18}$	2	4	1,0	13,9
13	Люфт главной передачи	$T_{19}$	4	6	1,7	23,3
14	Зазор в колесных тормозных механизмах	$T_{20}$	9	10	3,2	44,2
Всего по группе трансмиссия ( $j = 2$ ):			18	25	7,2	100,0
15	Углы установки управляемых колес	$T_{22}$	10	18	4,8	20,4
16	Зазор в подшипниках ступиц колес	$T_{21}$	8	12	3,4	14,6
17	Угол наклона оси поворота колес	$T_{23}$	3	8	1,9	8,0
18	Перекос мостов	$T_{24}$	4	9	2,2	9,5
19	Дисбаланс колес	$T_{25}$	7	10	2,9	12,4
20	Люфт рулевого колеса	$T_{26}$	7	12	3,2	13,9
21	Действие амортизаторов	$T_{27}$	-	10	1,7	7,3
22	Давление воздуха в шинах	$T_{28}$	7	12	3,2	13,9
Всего по группе ходовая часть ( $j = 3$ ):			46	91	23,0	100,0
23	Пробег с начала эксплуатации	$T_{12}$	8	10	3,1	7,7
24	Квалификация персонала	$T_6$	6	18	4,1	10,3
25	Стимулирование персонала	$T_7$	2	5	1,2	3,0
26	Обеспеченность технологическим оборудованием	$T_8$	9	20	5,0	12,4
27	Применение диагностирования	$T_{10}$	5	9	2,4	6,0
28	Применение ИТ	$T_5$	-	4	0,7	1,7
29	Способ хранения автомобилей	$T_9$	-	5	0,8	2,1
30	Качество топлива	$T_3$	8	20	4,7	12,0
31	Климатические условия	$T_1$	8	15	3,9	9,8
32	Дорожные условия	$T_2$	6	25	5,3	13,2
33	Наличие нормативно-информационной базы	$T_4$	8	22	5,1	12,8
34	Выполнение предупредительного ремонта по диагностической информации	$T_{11}$	6	15	3,6	9,0
Всего по группе эксплуатационные и квалификационные факторы ( $j = 4$ ):			66	168	39,3	100,0
Сумма			196	400	100	

Входными данными для расчета уровня взаимосвязи факторов выбраны результаты оценки их влияния по аналитическим данным и экспертным заключениям [10] в виде минимального  $q_{\min(i)}$  и максимального  $q_{\max(i)}$  значений в процентах увеличения относительного расхода топлива (перерасхода) ( $i$  – текущий номер фактора) [11]. Данные подбирались по грузовым автомобилям-самосвалам КамАЗ. В таблице 2 значения относительных коэффициентов влияния  $B_{cp(i)}$  и  $B_{cp(ij)}$  для всех  $n$  факторов определялись по формулам:

$$B_{cp(i)} = \left[ \frac{(q_{\min(i)} + q_{\max(i)})}{\sum_{i=1}^n (q_{\min(i)} + q_{\max(i)})} \right] \cdot 100\%, B_{cp(ij)} = \left[ \frac{(q_{\min(i)} + q_{\max(i)}) \cdot j}{\sum_{i=1}^n (q_{\min(i)} + q_{\max(i)}) \cdot j} \right] \cdot 100\%, \quad (9)$$

где  $j$  – количество групп факторов ( $j = 4$ ).

### Выводы

При одновременном проявлении всех неисправностей и отклонений теоретически возможные пределы увеличения расхода топлива от 196 % до 400 % [12].

В целом отклонения по ПТС двигателя могут привести к перерасходу от 66 % до 116 % [13], трансмиссии и тормозов – от 18 % до 25 %, ходовой части – от 46 % до 91 %, эксплуатационные факторы – от 63 % до 158 %. Влияние каждой системы в балансе перерасхода топлива можно проследить в 6 графе таблицы 2: наиболее влиятельны эксплуатационные и квалификационные факторы – до 37,9 %, разрегулировки двигателя – до 31,2 %, ходовой части – 23,5 %, трансмиссии и тормозов – 7,4 %.

Достоверность проведенного ранжирования факторов по влиянию на расход топлива автомобилем может быть подтверждена аналитической зависимостью по формуле (10), учи-

тывающей в своей структуре аналогичные группы факторов. Точность модели расхода топлива (10) подтверждена в работе [14] и в общем виде уравнение расхода топлива можно представить формулой:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot k \cdot F \cdot V_a^2 \pm 0,1 \cdot \beta \cdot G_a \cdot V_a)], \quad (10)$$

где  $A = \frac{7,95 \cdot a \cdot V_h \cdot i_0}{H_H \cdot \rho_T \cdot r_K}$ ;  $B = \frac{0,69 \cdot b \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0}{H_H \cdot \rho_T \cdot r_K}$ ;  $C = \frac{100}{H_H \cdot \rho_T \cdot \eta_{тр}}$ ;

$\eta_i$  – индикаторный к.п.д. двигателя;

$i_k$  – передаточное число коробки передач;

$V_a$  – скорость автомобиля (0,6  $V_{max}$ ), км/ч;

$G_a$  – вес автомобиля, Н;

$\psi$  – коэффициент дорожного сопротивления;

$F$  – лобовая площадь автомобиля, м<sup>2</sup>;

$\beta$  – коэффициент учета вращающихся масс;

$a$  [кПа],  $b$  [кПа·с·м<sup>-1</sup>] – экспериментальные коэффициенты, характеризующиеся отношением хода поршня  $S_n$  к диаметру цилиндра  $D_c$ ;

$H_H$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;

$\rho_T$  – плотность топлива, г/см<sup>3</sup>;

$r_K$  – радиус качения колеса, м;

$V_h$  – рабочий объем цилиндров двигателя, л;

$i_0$  – передаточное число главной передачи;

$\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии.

Конкурирующие группы факторов можно объединить условиям системной классификации: внешние и внутренние, значимые и незначимые по отношению к перерасходу топлива. Результаты сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Влияние факторов системной квалификации на расход топлива

Класс фактора	Обозначение	Наименование группы факторов	Обозначение факторов	Суммарный коэффициент влияния	Весовой коэффициент
Внешние (неуправляемые)	$a_1$	Природно-климатические и дорожные условия	$T_1, T_2$	9,2	12,3
	$a_3$	Качество топлива	$T_3$	4,7	3,0
Внутренние (управляемые)	$a_5$	Нормативно-техническое обеспечение	$T_4, T_5$	5,8	6,9
	$a_2$	Производственно-техническая база АТП	$T_8, T_9, T_{10}, T_{11}$	11,8	14,0
	$a_4$	Техническое состояние АТС	$T_{12}, T_{13}, T_{14}, T_{16}, T_{20}, T_{21}, T_{22}, T_{24}, T_{25}, T_{26}, T_{27}, T_{28}, T_{30}, T_{32}, T_{33}$	48,9	57,5
	$a_6$	Квалификация персонала	$T_6, T_7$	5,3	6,3

Учитывая, что исходные данные в таблице 2 формировались по марке грузового дизельного автомобиля КамАЗ, для других марок автомобилей расчет коэффициентов  $a_1 - a_6$  может дать другие значения. Их можно также определить, по мнению квалифицированных экспертов, методом априорного ранжирования факторов [15].

Весовые коэффициенты  $a_1 - a_6$  могут быть положены в основу алгоритма факторного анализа при определении причин перерасхода топлива. Таким образом, выполнив оценку баланса использования топлива автомобилем в текущий период эксплуатации, можно оперативно воздействовать на режимы технических воздействий обеспечения его работоспособности при положительном приращении глобального критерия эффективности ТЭА - коэффициента технической готовности парка автомобилей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загородний Н.А. Эксплуатационная надежность автомобилей в процессе их эксплуатации // Мир транспорта и технологических машин. 2025. №1-2(88). С. 101-107.
2. Захаров Н.С., Козин Е.С. Контроль выполнения технологического процесса обслуживания и ремонта автомобилей с использованием нейронных сетей // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. №4(60). С. 43-51.
3. Мороз С.М. Методологические основы диагностирования автотранспортных средств по критериям безопасности: автореф. на соиск. ученой степ. д-а техн. наук: 05.22.10 - эксплуатация автомобильного транспорта. М., 2004. 34 с.
4. Ушаков Д.В., Максимов В.А., Солнцев А.А., Поживилов Н.В. Оценка качества работы сервисного центра при обслуживании и ремонте подвижного состава автобусного АТП // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. Вып. 4(67). С. 10-17.
5. Новиков А.Н., Ерёмин С.В., Кулев А.В., Ломакин Д.О. Проблемы внедрения интеллектуальных транспортных систем в регионах. DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-47-54 // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №1(72). С. 47-54.
6. Курганов В.М., Грязнов М.В., Дорофеев А.Н. Планирование и учёт расхода автомобильного топлива в электронных путевых листах // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. №3(59). С. 67-79.
7. Кириллов А.Г., Жирнов А.Ю. Комплексный диагностический параметр априорной системы обеспечения работоспособности автомобилей в эксплуатации // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XIII международной научно-практической конференции. Оренбург: ОГУ. 2017. С. 133-136.
8. Сергеев А.Г. Метрологическое обеспечение автомобильного транспорта. М.: Транспорт, 1988. 247 с.
9. Гулый В.В., Солнцев А.А., Асоян А.Р., Ершов В.С. Определение закономерностей распределения отказов элементов, лимитирующих работоспособность легковых автомобилей // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2022. Вып. 2(69). С. 7-13.
10. Мороз С.М. Запас работоспособности – комплексный показатель надежности автотранспортных средств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2020. Вып. 3(62). С. 3–10.
11. Иванов В.Н., Ерохов В.И. Экономия топлива на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, 1984. 302 с.
12. Кириллов А.Г., Кокарев О.П., Нуждин Р.В. Оценка ресурса элементов тормозной системы. // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №3-3(82) С. 16-23. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-16-22 .
13. Солнцев А.А., Зиманов Л.Л., Данилов С.В., Горюнова А.В. Влияние загрязнения топливного фильтра на топливную экономичность автомобиля // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2023. Вып. 4(75). С. 93-99.
14. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, 1990. 135 с.
15. Евтюков С.А., Терентьев А.В., Гинзбург Г. Методология управления рациональным сроком службы автомобиля // Мир транспорта и технологических машин. 2017. №1(56). С. 3-10.

**Кириллов Александр Геннадьевич**

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

Адрес: 600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького, д. 87

К.т.н, доцент кафедры автомобильного транспорта, безопасности и управления качеством

E-mail: kirillov\_ag@mail.ru

**Горбунов Роман Викторович**

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

Адрес: 600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького, д. 87

Аспирант

E-mail: rgorbunov@vlsu.ru

---

A.G. KIRILLOV, R.V. GORBUNOV

## SUBSTANTIATION OF THE GLOBAL CRITERION FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF OPERATIONAL VEHICLE PERFORMANCE MANAGEMENT

**Abstract.** *To improve the quality of decisions made, it is proposed to develop a universal global criterion that allows an objective assessment of the effectiveness of operational management of the operation of automotive equipment, regardless of the industry characteristics of the enterprise. This criterion will allow taking into account a set of key indicators that affect the performance of transport — from the technical characteristics of the car to the economic conditions and environmental safety of the region.*

**Keywords:** *readiness coefficient, operational management, efficiency, car, diagnostics*

## BIBLIOGRAPHY

1. Zagorodniy N.A. Eksploatatsionnaya nadezhnost` avtomobiley v protsesse ikh eksploatatsii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2025. №12(88). S. 101-107.
2. Zakharov N.S., Kozin E.S. Kontrol` vypolneniya tekhnologicheskogo protsessa obsluzhivaniya i remonta avtomobiley s ispol`zovaniem neyronnykh setey // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2023. №4(60). S. 43-51.
3. Moroz S.M. Metodologicheskie osnovy diagnostirovaniya avtotransportnykh sredstv po kriteriyam bezopasnosti: avtoref. na soisk. uchenoy step. d-a tekhn. nauk: 05.22.10 - eksploatatsiya avtomobil'nogo transporta. M., 2004. 34 s.
4. Ushakov D.V., Maksimov V.A., Solntsev A.A., Pozhivilov N.V. Otsenka kachestva raboty servisnogo tsentra pri obsluzhivanii i remonte podvizhnogo sostava avtobusnogo ATP // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2021. Vyp. 4(67). S. 10?17.
5. Novikov A.N., Eriomin S.V., Kulev A.V., Lomakin D.O. Problemy vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem v regionakh. DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-47-54 // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №1(72). S. 47-54.
6. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Dorofeev A.N. Planirovanie i uchiot raskhoda avtomobil'nogo topliva v elektronnykh putevykh listakh // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2023. №3(59). S. 67-79.
7. Kirillov A.G., ZHirnov A.YU. Kompleksnyy diagnosticheskiy parametr apriornoy sistemy obespecheniya rabotospo-sobnosti avtomobiley v eksploatatsii // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: materialy XIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orenburg: OGU. 2017. C.133-136.
8. Sergeev A.G. Metrologicheskoe obespechenie avtomobil'nogo transporta. M.: Transport, 1988. 247 s.
9. Gulyy V. V., Solntsev A. A., Asoyan A. R., Ershov V. S. Opredelenie zakonomernostey raspredeleniya ot-kazov elementov, limitiruyushchikh rabotosposobnost` legkovykh avtomobiley // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2022. Vyp. 2(69). S. 7-13.
10. Moroz S.M. Zapas rabotosposobnosti kompleksnyy pokazatel` nadezhnosti avtotransportnykh sredstv // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2020. Vyp. 3(62). S. 3-10.
11. Ivanov V.N., Erokhov V.I. Ekonomiya topliva na avtomobil'nom transporte. M.: Transport, 1984. 302 s.
12. Kirillov A.G., Kokarev O.P., Nuzhdin R.V. Otsenka resursa elementov tormoznoy sistemy. // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. №3-3(82). S. 16?23. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-16-22 .
13. Solntsev A.A., Zimanov L.L., Danilov S.V., Goryunova A.V. Vliyanie zagryazneniya toplivnogo fil'tra na toplivnyuyu ekonomichnost` avtomobilya // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2023. Vyp. 4(75). S. 93?99.
14. Govorushchenko N.YA. Ekonomiya topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte. M.: Transport, 1990. 135 s.
15. Evtyukov S.A., Terent`ev A.V., Ginzburg G. Metodologiya upravleniya ratsional`nym srokom sluzhby avtomobilya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2017. №1(56). S. 3-10.

### **Kirillov Alexander Gennadyevich**

Vladimir State University

Address: 600000, Russia, Vladimir, Gorkogo St., 87

Candidate of Technical Sciences

E-mail: kirillov\_ag@mail.ru

### **Gorbunov Roman Viktorovich**

Vladimir State University

Address: 600000, Russia, Vladimir, Gorkogo St., 87

Postgraduate student

E-mail: rgorbunov@vlsu.ru

А.Н. САКУН, А.Н. РЕМЕНЦОВ

## НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПОСЛЕ РЕМОНТА

**Аннотация.** В статье представлен общий подход к определению причин отказов сложных технических систем, возникающих в эксплуатации транспортных средств после ремонта. Практика показывает, что процесс исследования вызывает большую трудность у автотехников и обусловлено это отсутствием единой методики, которая позволяла бы с помощью достаточного числа квалификационных признаков достоверно устанавливать причину отказа и разрешать спор между ремонтной организацией, потребителем и продавцом запчастей.

**Ключевые слова:** отказ, определение причин отказа после ремонта, поиск неисправности двигателя после ремонта, методика определения причин отказов, схема исследования причин неисправности, экспертиза транспортного средства после ремонта

### Введение

Автомобильный парк в РФ и количество станций технического обслуживания (СТО) увеличиваются, а вместе с ними и число отказов транспортных средств (ТС) и их систем, но в тоже самое время отсутствует единая методика, позволяющей достоверно определять причины отказов сложных технических систем. Это приводит к бесчисленному числу конфликтных ситуаций и судебных споров. Единой методики определения причин отказа ТС после ремонта на данном этапе развития науки, техники, искусства, ремесла – нет. Эксперты используют частные методики, арсенал которых напрямую зависит от уровня знаний конкретного специалиста и его гносеологического начала. При таких условиях результат оценки технического состояния ТС после ремонта становится крайне непредсказуемым и эффективность оценки имеет весьма низкий показатель [1], что приводит к крайне негативным последствиям.

### Материал и методы

При проведении автотехнических экспертиз ключевым является определение термина «отказ». Термин «отказ» определяется как событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Отказ может быть полным или частичным. «Причиной отказа» называют совокупность обстоятельств (явлений, процессов, событий и состояний), приводящих к отказу, а «механизмом отказа» – процесс, приводящий к отказу. Процесс может быть физическим, химическим, логическим, психологическим или их комбинацией [2].

Анализ отказов сложных технических систем берет свое начало из авиационной и космической техники, позже стал использоваться для военной техники и с 1980 года методика применяется в автомобильной промышленности [3].

В авиации при расследовании причин отказов используется дифференцированный подход, что позволяет повысить эффективность расследования и минимизировать ошибки в заключении, поскольку задействовано большое количество специалистов различных специальностей (специализаций), что по своей сути отвечает понятию «комплексная экспертиза» [4].

Известно, что криминалисты всегда обращали особое внимание на образующиеся в результате совершенного преступления следы, выявление и исследование которых занимало и занимает центральное место, поскольку следы являются одним из основных источников доказательственной информации. Успех расследования во многом зависят от того, насколько полно удалось выявить, закрепить, изъять, исследовать и эффективно использовать следы,

отражающие различные обстоятельства происшедшего криминального события [5].

### **Теория**

Аналогичные задачи стоят и при проведении процедуры расследования отказов транспортных средств: выявить, изъять, исследовать и оценить следы, образовавшиеся в результате события.

Такой вывод находится свое подтверждение в работах Австралийского бюро транспортной безопасности (ATSB) [6]. При проведении реконструкции событий ATSB использовало тот же алгоритм работы со следами, что и криминалисты. Следует заметить, что в рамках расследования было проведено большое количество лабораторных испытаний в целях обнаружения следов, указывающих на причины отказа двигателя воздушного судна. То есть, не просто оценка внешнего вида деталей и сравнение его с архивными фотографиями или каталогом производителя, а всесторонний анализ механических, химических, физических и эксплуатационных свойств объектов исследования.

Примечательно также и то, что большинство авиакатастроф вызвано человеческим фактором (ошибки пилотов, ненадлежащее обслуживание и ошибки при проведении ремонтных работ) [7]. Такого рода обстоятельство указывает на необходимость анализа истории технического обслуживания и ремонта ТС, чему при проведении автотехнической экспертизы не уделяется должного внимания.

В справочниках по надежности США и Англии можно встретить процедуру расследования авиакатастроф схожую с используемой ИКАО и ATSB, но один элемент в них заслуживает особого внимания – моделирование конструкции, которое невозможно без выявления, изъятия, исследования и оценки следов: «структурное моделирование того или иного отсека самолета часто оказывается очень эффективным средством выяснения причины аварии или неопровержимой демонстрацией того, что предполагаемое явление, которое могло стать причиной аварии, действительно произошло. Это особенно верно при пожаре в воздухе, столкновении в воздухе и взрывах» [8]. Представляется, что такой подход также может быть использован и при определении причин отказов двигателя ТС, когда имеются существенные разрушения агрегата, например, после «гидроудара», нарушения режима смазывания, обрыва клапана, нарушения осевой фиксации поршневого пальца и т.д.

Говоря о структурном моделировании, нельзя не упомянуть работы таких авторов как А.С. Можаяев [9], А.Э. Хрулев и В.Г. Клименко [10], Р.А. Шубин [11], где предлагается при решении экспертных задач по определению причин отказов использовать метод анализа дерева отказов, который является распространенным методом моделирования надежности сложных технических систем, обычно выполняемым на стадии их проектирования.

В тоже самое время, А.Э. Хрулев и В.Г. Клименко отмечают: *«если решается задача поиска причины отказа, то она формулируется не как поиск формулы и не расчет вероятности отказа (для любого выпускаемого двигателя такие исследования должны быть уже проведены разработчиком), а как определение причины отказа, который уже случился. В таком случае структурирование объекта ничего не дает, и работу следует начинать с определения возможных источников, причин и признаков неисправностей для данного объекта в целом, т.е. структурирования самого события отказа»* [10].

Вместе с тем, А.Э. Хрулев и В.Г. Клименко предлагают разбиение признаков отказа на следующие группы: главные, подтверждающие (главный) и уточняющие (вид и место повреждающего воздействия). Признаком в данном случае называют показатель или знак, по которому можно распознать или определить конкретную причину отказа. Иными словами, признак есть результат интерпретации следа, оставленного событием или действием человека. Следует отметить, что такая классификация помогает систематизировать полученные сведения в процессе анализа.

В целом, предложенная авторами методика применима в практике и хорошо себя зарекомендовала. Однако, переходя к доказательственному значению заключения автотехнической экспертизы неминуемо возникают следующие вопросы, требующие разрешения: как определить возможные источники причин и признаки неисправности, какое количество и ка-



ких признаков необходимо установить в процессе исследования, чтобы квалифицировать то или иное явление?

Согласно требованиям закона, эксперт проводит исследования объективно, на строго научной и практической основе, в пределах соответствующей специальности, всесторонне и в полном объеме [12]. Именно по этой причине обнаружив следы абразивного износа на поверхности юбки поршня, нельзя оставить без внимания такой показатель механического свойства, как твердость и презюмировать попадание пыли/песка через воздушный фильтр только лишь по тому основанию, что это указано в каталоге производителя. Аналогичным образом, недопустимо получать знание о причинах отказа опосредовано, например, в случае обнаружения трещины или излома коленчатого вала, пренебрегая при этом фрактографическим анализом, металлографическим анализом, определением химического состава, определением механических свойств.

В работе [13] были предложены и активно используются такие этапы расследования причин отказов как: сбор предварительных данных, фотографические записи, выбор образцов, предварительный осмотр поврежденных компонентов, обработка образцов, неразрушающий контроль, механические испытания, химический и элементный анализ, фрактографическое исследование, определение типов изломов, применение инструментов моделирования, применение теории механики разрушения, имитационное испытание, окончательный отчет.

Важно отметить, что такой подход является научно обоснованным и соответствует предъявляемым к экспертному исследованию требованиям, как точки зрения науки, так и с точки зрения закона. Однако, этот подход требует некоторой адаптации под обстоятельства, в которых вынуждены работать современные автотехники.

Нельзя не согласиться с мнением А.Э. Хрулева, который неоднократно делал акцент в своих работах и на 12-ом Международном конгрессе двигателестроения [14], какие основные трудности испытывает автотехник при определении причин неисправностей ДВС, а именно: недостаточное количество данных; недостаточный опыт исследователя, непонимание им сути процессов; ошибочное объяснение причинно-следственных связей; прочие субъективные факторы.

На исследователя действительно возложено много разнородных задач, и он должен обладать большими знаниями в разных отраслях науки, а также опытом в проведении экспертных исследований.

Из вышеизложенного вытекает цель: необходимость разработки единой методики определения причин отказов ТС на основе установления квалификационных признаков, позволяющих достоверно установить причины отказов, возникающих в эксплуатации после выполненного ремонта.

Объектом в таком случае будет: процесс оценки технического состояния ТС после ремонта.

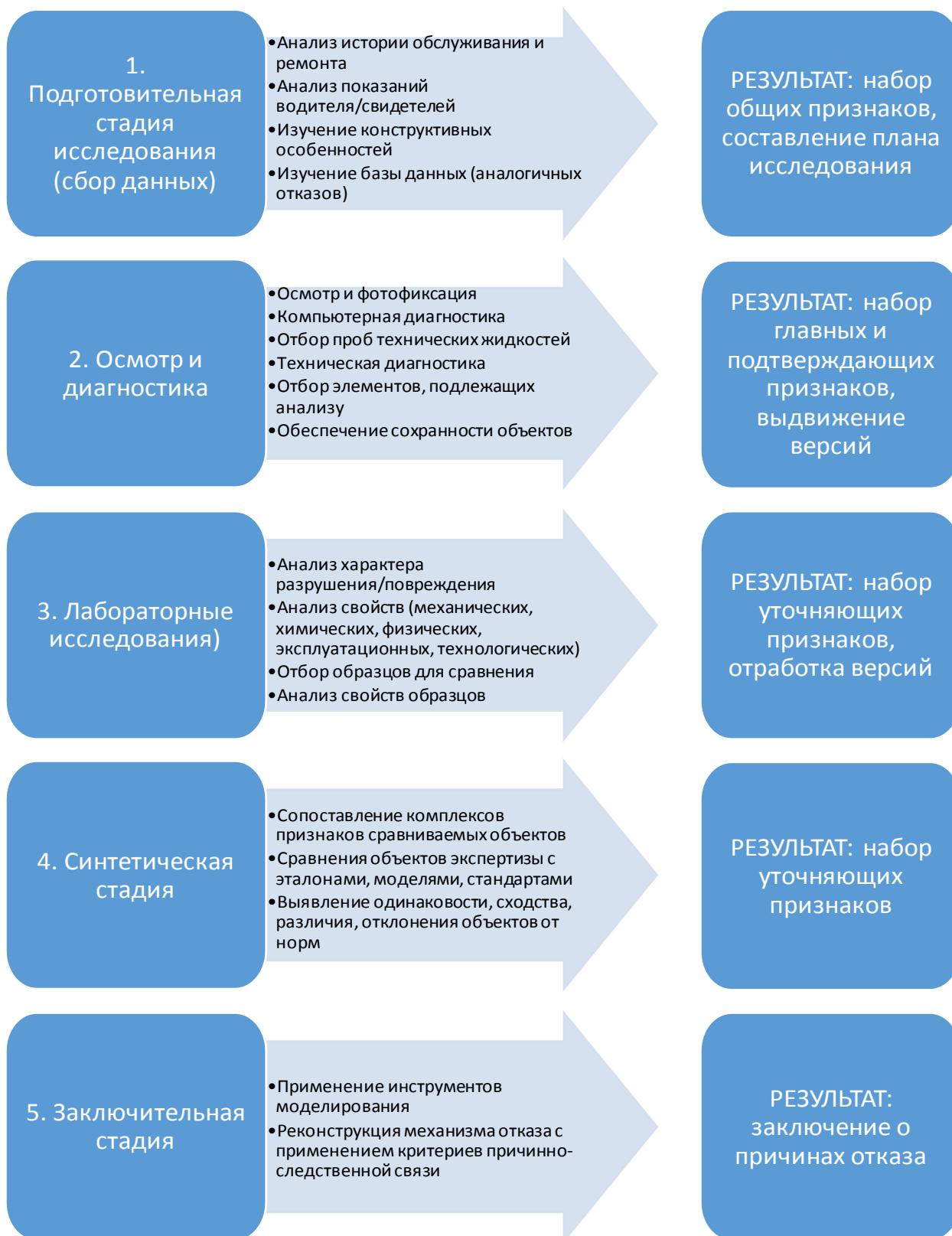
Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести системный анализ применяемых в практике методик и средств оценки технического состояния ТС.
2. Выявить факторы, влияющие на эксплуатационные отказы ТС после выполненного ремонта.
3. Разработать принципы и сформировать классификацию квалификационных признаков устанавливающих причины отказов ТС после выполненного ремонта.
4. Сформировать алгоритм установления причинно-следственной связи между выполненным ремонтом и отказом ТС.
5. Провести апробацию разработанной методики на примере основных узлов и агрегатов ТС.

### Результаты и обсуждение

По результатам выполнения некоторых из поставленных задач, учитывая научные положения и опыт, авторами была сформирована общая схема исследования причин отказов ДВС после ремонта, а затем апробирована на практике. Исследование состоит из пяти последовательных стадий (табл. 1):

Таблица 1 – Схема исследования



В качестве примера использования предлагаемого нами подхода представлено исследование причин отказа ДВС при проведении автотехнической экспертизы. Во время движения ТС отказал двигатель. ТС оснащено двигателем внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия. После замены ДВС ТС проехало 2500 км. Основанием для замены ДВС послужила неисправность топливной системы – вследствие возникшей неисправности топливной форсунки произошло повреждение цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Топливные форсунки и ТНВД были отремонтированы сторонней организацией, двигатель установлен новый. В результате изучения предоставленных материалов было установлено, что на трех топливных форсунках из четырех был заменен обратный клапан (мультипликатор).

После изучения всех предоставленных документов был назначен осмотр ТС. По результатам общей диагностики было установлено, что давление в топливной рампе 0 бар, коленчатый вал принудительно не вращается (заблокирован).

Углубленная диагностика показала отсутствие кодов неисправностей в электронном блоке управления двигателем. Посредством эндоскопа был проведен осмотр ЦПГ и выявлены следы износа на рабочей поверхности третьего цилиндра.

Поэлементная диагностика подтвердила повреждение третьего цилиндра (рис. 1, 2), а при проведении диагностики топливных форсунок, тест на герметичность, форсунка третьего цилиндра не прошла. После обследования обратного клапана (мультипликатора) топливной форсунки 3-го цилиндра, который подлежал замене при первичном ремонте, на боковой поверхности была обнаружена трещина (рис. 3, 4).



Рисунок 1, 2 - Повреждение 3-го цилиндра ДВС

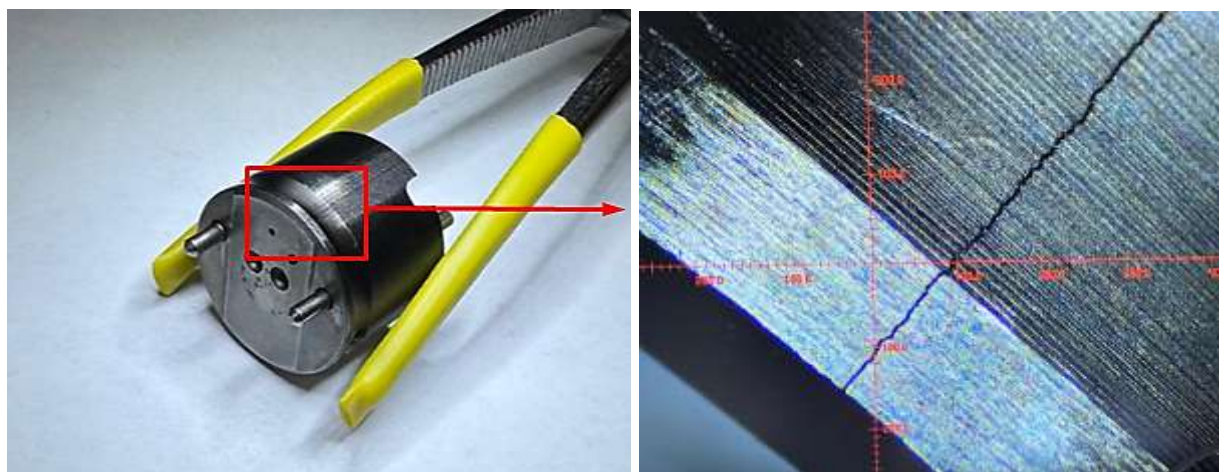


Рисунок 3, 4 - Трещина обратного клапана (мультипликатора) топливной форсунки 3-го цилиндра ДВС



В ходе химического анализа было установлено, что элементный состав материала соответствует стали марки Р6М5 (быстрорежущая инструментальная сталь).

На следующем этапе был произведен замер микротвердости в 14-ти точках вблизи трещины. Среднее значение составило 830 HV.

Затем обратный клапан с помощью электроэрозионного станка был разрезан вдоль трещины (незначительно отступив от нее) на фрагменты (рис. 5) и проведен фраттографический анализ. После этого изготовлен шлиф (из малого фрагмента) и проведен металлографический анализ.



Рисунок 5 - Вид разрезанного обратного клапана



Рисунок 6 – Фраттографический анализ

В ходе фраттографического анализа было обнаружено:

- кромка трещины имеет следы механической обработки (сглажена), что указывает на «попытку устранения трещины»;
- каналы выполнены с низкой точностью сверления (рис. 6);
- очаговая зона трещины расположена около канала и распространялась от него, что свидетельствует о дефекте металлообработки (рис. 6);
- поверхность топливных каналов имеет следы коррозии, что указывает на низкую противокоррозионную стойкость или большое содержание воды в топливе (по результатам

анализа топлива было установлено, что массовая доля воды находится в допуске).

Во время изготовления шлифа после травления 3 % раствором  $\text{HNO}_3$  (азотная кислота) спустя 5 секунд взаимодействия с травителем основная поверхность протравилась, а в тех местах, где находились сульфидные включения произошла коррозия. Это означает, что материал не пригоден для использования в агрессивной среде с присутствием воды.

В результате металлографического анализа было установлено:

- глубина химико-термической обработки (азотированный слой) до 1 мм.;
- обследуемая поверхность имеет полосовидную структуру, что свидетельствует о неравномерном распределении химических элементов по сечению детали;
- зерно мелкое (бионит), на 50-ти кратном увеличении невозможно установить размер зерна;
- поверхность разрушена коррозией (присутствуют коррозионные язвы на свободной поверхности, но при этом контуры детали, которые не соприкасались с топливом сохранили высокую точность поверхности).

В целях проведения сравнительного исследования были приобретены новые образцы (мультипликаторы) в количестве 5 шт. При определении объема выборки использовался подход, изложенный ранее в статье [15].

На заключительной стадии исследования было проведено моделирование с помощью дерева отказов, где использовались критерии причинно-следственной связи, что позволило исключить другие версии и сделать вывод о причинах отказа в категоричной форме.

Заключение по результатам исследования. Причиной отказа ДВС является повреждение обратного клапана (мультипликатора) топливной форсунки 3-го цилиндра, который имеет сквозную трещину, что привело к нарушению смесеобразования в цилиндре и смыву масляной пленки на стенках цилиндра. Трещина образовалась до сборки топливной форсунки при проведении ремонта и вызвана сочетанием нескольких факторов: применением материала, не соответствующего условиям эксплуатации и дефектом металлообработки – во время сверления канала образовалась микротрещина, которая в процессе эксплуатации развилась.

### **Выводы**

В основу анализа причин отказов сложных технических систем должна быть положена надежная методика, способная обеспечить достоверный результат. Достижение этой цели, как показывает практика расследования авиакатастроф, возможно с помощью всестороннего, полного и объективного исследования при котором устанавливается достаточное число квалификационных признаков (следов) и применяются критерии причинно-следственной связи. Применение на практике такой методики (более 25-ти исследований за 6 месяцев) подтвердили свою эффективность. Безусловно, данная методика нуждается в доработке и конкретизации, но есть все основания полагать, что она лучшим образом отвечает принципам полноты, всесторонности и объективности.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сакун А.Н., Ременцов А.Н. О необходимости применения стандартизированной методики определения причин неисправностей автомобильной техники // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сборник научных трудов по материалам 83-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2024. С. 131-137.
2. Greuter E., Zima S. Engine Failure Analysis. Internal Combustion Engine Failures and Their Causes. Warrendale, SAE International, 2012. 582 p.
3. Amosov A.G., Golikov V.A., Mikhailova E.V., Rozhdestvensky O.V. Methodology for failure analysis of complex technical systems and prevention of their consequences // Amazonia Investiga. №10(48). 2021. P. 43-51.
4. Doc 9756, Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation. Part I: Organization and Planning // International Civil Aviation Organization Icao. 2015. 144 p.

5. Тактика следственных действий (осмотр места происшествия и допрос): научно-методическое пособие / под ред. А.И. Дворкина, Л.В. Бертовского. М.: Экзамен, 2011. 815 с.
6. Aircraft Reciprocating-Engine Failure. An Analysis of Failure in a Complex Engineered System. ATSB Transport Safety Investigation Report. Aviation Safety Research and Analysis Report B2007/0191. Canberra City: Australian Transport Safety Bureau, 2007. 255 p.
7. Bureau of Aircraft Accidents Archives [Электронный ресурс]. URL: <https://www.baaa-acro.com/>.
8. Справочник по надежности. Том 2. Пер. с англ. П.К. Горохова. М.: Мир, 1970. 304 с.
9. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем // Военно-Морская Академия имени Маршала Советского Союза Гречко А.А. Ленинград, 1988. 68 с.
10. Хрулев А.Э., Клименко В.Г. Особенности построения и применения логических методов поиска причин отказов поршневых двигателей внутреннего сгорания в эксплуатации // Авіаційно-космічна техніка і технологія. 2020. №7(167). С. 146-157. DOI: 10.32620/akt.2020.7.20.
11. Шубин Р.А. Надёжность технических систем и техногенный риск. Тамбов: ТГТУ, 2012. 80 с.
12. Судебная экспертиза в гражданских процессах: научно-практическое пособие / под ред. Е. Р. Россинской. Москва: Проспект, 2018. 704 с.
13. NATO Science and Technology Organization, RTO-TR-AVT-137 AC/323(AVT-137)TP/396 [Электронный ресурс] / Corrosion and Maintenance Data Sharing, Final Report of Task Group AVT-137. URL: [http://natorto.cbw.pl/uploads/2011/11/\\$\\$TR-AVT-137-ALL.pdf](http://natorto.cbw.pl/uploads/2011/11/$$TR-AVT-137-ALL.pdf)
14. Сакун А.Н., Ременцов А.Н. Выбор образцов для сравнительного исследования при определении причин отказов колесных транспортных средств // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции / под ред. Н. М. Филькина. Ижевск: УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2025. 587 с.

**Сакун Андрей Николаевич**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64

Аспирант

E-mail: andrey.sakun@bk.ru

**Ременцов Андрей Николаевич**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64

К.т.н., д.п.н., профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»

E-mail: rementsov@yandex.ru

---

A.N. SAKUN, A.N. REMENTSOV

## **SOME METHODOLOGICAL APPROACHES TO DETERMINING THE CAUSES OF VEHICLE FAILURES AFTER REPAIR**

**Abstract.** *The article presents a general approach to determining the causes of failures of complex technical systems that occur during the operation of vehicles after repair. Practice shows that the research process causes great difficulty for auto technicians and this is due to the lack of a unified methodology that would allow, using a sufficient number of qualification features, to reliably establish the cause of failure and resolve the dispute between the repair organization, the consumer and the seller of spare parts.*

**Keywords:** *failure, determining the causes of failure after repair, searching for engine malfunction after repair, methodology for determining the causes of failure, scheme for investigating the causes of malfunction, examination of a vehicle after repair*

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Sakun A.N., Rementsov A.N. О neobkhodimosti primeneniya standartizirovannoy metodiki opredeleniya prichin neispravnostey avtomobil'noy tekhniki // Aktual'nye voprosy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: Sbornik nauchnykh trudov po materialam 83-oy nauchno-

metodicheskoy i nauchno-issledovatel'skoy konferentsii MADI. Moskva: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet (MADI), 2024. S. 131-137.

2. Greuter E., Zima S. Engine Failure Analysis. Internal Combustion Engine Failures and Their Causes. Warrendale, SAE International, 2012. 582 p.

3. Amosov A.G., Golikov V.A., Mikhailova E.V., Rozhdestvensky O.V. Methodology for failure analysis of complex technical systems and prevention of their consequences // Amazonia Investiga. №10(48). 2021. R. 43-51.

4. Doc 9756, Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation. Part I: Organization and Planning // International Civil Aviation Organization Icao. 2015. 144 p.

5. Taktika sledstvennykh deystviy (osmotr mesta proisshestiya i dopros): nauchno-metodicheskoe posobie / pod red. A.I. Dvorkina, L.V. Bertovskogo. M.: Ekzamen, 2011. 815 c.

6. Aircraft Reciprocating-Engine Failure. An Analysis of Failure in a Complex Engineered System. ATSB Transport Safety Investigation Report. Aviation Safety Research and Analysis Report B2007/0191. Canberra City: Australian Transport Safety Bureau, 2007. 255 p.

7. Bureau of Aircraft Accidents Archives [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.baaacro.com/>.

8. Spravochnik po nadezhnosti. Tom 2. Per. s angl. P.K. Gorokhova. M.: Mir, 1970. 304 s.

9. Mozhaev A.S. Obshchiy logiko-veroyatnostnyy metod analiza nadezhnosti slozhnykh sistem // Voenno-Morskaya Akademiya imeni Marshala Sovetskogo Soyuza Grechko A.A. Leningrad, 1988. 68 s.

10. Hrudev A.E., Klimenko V.G. Osobennosti postroeniya i primeneniya logicheskikh metodov poiska prichin otkazov porshnevnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya v ekspluatatsii // Aviatsiyno-kosmichna tekhnika i tekhnologiya. 2020. №7(167). С. 146-157. DOI: 10.32620/aktt.2020.7.20.

11. Shubin R.A. Nadiozhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyy risk. Tambov: TGTU, 2012. 80 c.

12. Sudebnaya ekspertiza v tsivilisticheskikh protsessakh: nauchno-prakticheskoe posobie / pod red. E. R. Rosinskoy. Moskva: Prospekt, 2018. 704 s.

13. NATO Science and Technology Organization, RTO-TR-AVT-137 AC/323(AVT-137)TP/396 [Elektronnyy resurs] / Corrosion and Maintenance Data Sharing, Final Report of Task Group AVT-137. URL: [http://natorto.cbw.pl/uploads/2011/11/\\$STR-AVT-137-ALL.pdf](http://natorto.cbw.pl/uploads/2011/11/$STR-AVT-137-ALL.pdf)

14. Sakun A.N., Rementsov A.N. Vybor obraztsov dlya sravnitel'nogo issledovaniya pri opredelenii prichin otkazov kolesnykh transportnykh sredstv // Avtomobilstroenie: proektirovanie, konstruirovaniye, raschet i tekhnologii remonta i proizvodstva: materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / pod red. N. M. Fil'kina. Izhevsk: UIR IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova. 2025. 587 s.

**Sakun Andrey Nikolaevich**

Moscow Automobile and Road State Technical University

Address: 125319, Russia, Moscow

Postgraduate student

E-mail: andrey.sakun@bk.ru

**Rementsov Andrey Nikolaevich**

Moscow Automobile and Road State Technical University

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky

Candidate of Technical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences

E-mail: rementsov@yandex.ru

Е.Н. ГРЯДУНОВА, А.В. ГОРИН, О.В. ЯКОВЛЕНКО, О.А. АКМОЧКИНА

## ОСОБЕННОСТИ КОМПОНОВКИ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ

***Аннотация.** В статье рассмотрена проблема составления фонда оценочных средств по дисциплине «Техническая механика наземных транспортных-технологических средств». Проводится сопоставление рабочих программ транспортных специальностей и анализ фондов оценочных средств по технической механике. Показаны способы и средства составления фонда оценочных средств. Представлены тесты и задачи, содержащие элементы профессиональной направленности и обеспечивающие формирование необходимых компетенций.*

***Ключевые слова:** техническая механика, транспортное предприятие, рабочие программы, фонды оценочных средств, тест, задача*

### **Введение**

В настоящее время перед Россией стоит задача обеспечить национальный технологический суверенитет: создать собственные средства производства и технологии во всех отраслях промышленности, в том числе и в транспортной [1]. Поэтому подготовка инженерных кадров, способных конструировать, реконструировать и эксплуатировать наземные транспортные средства, является важнейшей задачей, стоящей перед высшей школой [2]. В связи с увеличением общего объема научно-технической информации и одновременным ростом объема учебного материала для самостоятельного изучения необходимо обозначить для студента цель образования, тем самым мотивируя его к самостоятельному и сознательному обучению. Это возможно только путем введения в фундаментальные науки, в том числе и техническую механику, элементов профессиональных задач, решаемых с помощью знаний, полученных в ходе обучения. Основным документом, регламентирующим образовательную деятельность высшего учебного заведения, является Федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС), в котором прописаны компетенции [3], необходимые для усвоения. На основе ФГОС профессорско-преподавательский состав ВУЗа разрабатывает рабочие программы дисциплин, регламентирующие содержание, порядок и методы освоения дисциплины. Рабочие программы содержат фонд оценочных средств (ФОС), состоящий из тестов, заданий и задач по изучаемому предмету, контрольных работ и т.д., позволяющий проводить итоговую и промежуточную аттестацию студента. Разработка фонда оценочных средств по технической механике наземных транспортных-технологических средств, удовлетворяющих всем требованиям ФГОС в условиях модернизации систем высшего технического образования является актуальной задачей[4].

### **Материал и методы**

В настоящее время интерес к профессии инженера заметно возрос. В современных условиях сложилась особая ситуация с подготовкой специалистов технического профиля: Минобрнауки постепенно переводит все университеты на новую систему образования - специалитет. ОГУ имени И.С. Тургенева осуществляет обучение студентов по направлению подготовки 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (специалитет) по трем специальностям: «Автомобильная техника в транспортных технологиях», «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование», «Технические средства природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях» [5].

Одним из самых объемных учебных курсов, преподаваемых на данных специальностях, является «Техническая механика наземных транспортно-технологических средств».



Дисциплина «Техническая механика наземных транспортно-технологических средств» состоит из трех разделов: теоретическая механика, сопротивление материалов, теория машин и механизмов. В процессе ее изучения студент получает фундаментальные знания по методам расчета деталей на прочность и жесткость, методам кинематического, динамического, силового анализа машин и механизмов. Это фундаментальная дисциплина, имеющая практическое значение для подготовки будущего инженера к решению проектно-конструкторских и производственно-технологических задач.

Анализ образовательных программ трех высших учебных заведений нашей страны, выпускающих специалистов по данной специальности, – МГТУ им. Н.Э. Баумана [6], Российский университет транспорта [7], Государственный строительный университет [8] – показал, что ведущие московские вузы предпочли оставить преподавание дисциплин «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов», «Теория машин и механизмов» отдельно, не объединяя их в одну – техническую механику. Дисциплина «Техническая механика наземных транспортно-технологических средств», изучаемая в ОГУ имени И.С. Тургенева, должна дать весь объем учебной информации по трем курсам общеинженерных дисциплин. Изучение данного предмета развивает междисциплинарное мышление, общепрофессиональные компетенции в области решения проблем конструирования и расчета различных машин и механизмов [9, 10]. Усвоение студентами основных положений технической механики обеспечивает продуктивный переход к изучению специальных технических дисциплин. Главная задача, стоящая перед преподавателем, – чтобы обучающийся не только усвоил основные законы и методы механики, но и научился применять их в профессиональной деятельности. Процесс усвоения студентом столь сложной и объемной дисциплины должен постоянно контролироваться. Для текущего контроля успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации применяются оценочные материалы, представленные в рабочей программе дисциплины в качестве фонда оценочных средств (ФОС), представляющие собой комплект методических и контрольно-измерительных материалов [11, 12]. Составление заданий, тестов, задач важная и сложная учебно-методическая работа, возложенная на преподавательский состав вуза [13, 14].

### **Теория**

Количество оценочных средств (заданий) для диагностики сформированности компетенций определяется руководителем образовательной программы (РОП)/заведующим кафедрой. Так как компетенции заявленные в рабочей программе дисциплины технической механике наземных транспортных-технологических средств формируются более трех дисциплин, то в ФОСе должно содержаться не менее 20 заданий в каждом из четырех основных типов заданий:

- задание закрытого типа на установление соответствия;
- задание закрытого типа на установление последовательности;
- задание открытого типа с развернутым ответом/ задача;
- задания открытого типа с кратким ответом/ вставить термин, словосочетание..., дополнить предложенное.

Оценочные средства должны обеспечивать проверку сформированности каждой компетенции в рамках дисциплины с учетом установленных индикаторов. Анализ ФОСов по технической механике, имеющих в свободном доступе в интернете, показал, что практически все тесты и задачи сформулированы для абстрактных предметов, и не имеют профессиональной направленности. Однако, студент с первых курсов должен погружаться в выбранную им профессию, осознавать перспективы и цели обучения [15, 16]. Поэтому при составлении заданий по технической механике наземных транспортных-технологических средств необходимо ввести элементы профессиональной направленности.

В таблице 1 представлен пример задания закрытого типа на установление соответствия. При составлении этого задания необходимо учесть, что число ответов должно быть на одно больше, чем вопросов [17, 18]. На выполнение этого задания отводится 1-2 минуты, за-

читывается только абсолютно правильный ответ.

Таблица 1 - Задание закрытого типа на установление соответствия

Содержание вопроса		Правильный ответ
Установите соответствие между законами механики и их применением в машиностроительном производстве:		А3, Б2, В4, Г1
А Первый закон Ньютона Б Второй закон Ньютона В Третий закон Ньютона Г Закон сохранения импульса	1 Расчет противовесов в подвижных механизмах. 2 Определение силы резания при обработке металла. 3 Обеспечение равномерного прямолинейного движения при работе конвейера. 4 Анализ отдачи при работе прессы. 5 Балансировка вращающихся деталей.	
Установите соответствие между видами движения и их примерами в машиностроении:		А2, Б4, В5, Г3
А Равномерное прямолинейное Б Равноускоренное В Криволинейное Г Вращательное	1 Движение поршня в цилиндре. 2 Перемещение конвейерной ленты без нагрузки. 3 Обработка детали на токарном станке. 4 Разгон электромотора при пуске. 5 Движение режущей фрезы по сложной траектории.	

Задание закрытого типа на установление последовательности является более сложным для его решения студенту выделяется четыре минуты. В таблице 2 представлены тесты составленные с учетом технологического процесса подачи заготовки в автомате и контроля балансировки вращающейся детали.

Таблица 2 - Задание закрытого типа на установление последовательности

Содержание вопроса	Правильный ответ
Установите порядок применения законов Ньютона для расчета ускорения подачи заготовки в автомате: 1 Составить уравнения сил по оси движения 2 Рассчитать коэффициент трения 3 Учет инерции вращающихся частей механизма 4 Определение результирующей силы 5 Рассчитать требуемое ускорение	21345
Установите последовательность оценки кинетической энергии вращающейся детали для контроля балансировки: 1 Рассчитать угловую скорость шпинделя 2 Рассчитать момент инерции детали относительно оси вращения 3 Определить центр масс детали 4 По полученной кинетической энергии провести проверку допустимого дисбаланса по ГОСТ 5 Рассчитать кинетическую энергию вращающейся детали	32154

При составлении задач по технической механике важно в качестве механизма использовать реальное устройство, применяемое в машиностроительном производстве. Тогда можно проконтролировать умение обучающего применять теоретические знания механики к расчету реальных деталей и механизмов. В таблице 3 представлены простые задачи, которые решаются в течении 5-7 минут. При этом задачи сопровождающие схемами, рисунка предпочтительнее, чем чисто текстовые [19, 20]. Студент должен быстро проанализировать задачу: найти логическую взаимосвязь между известными и неизвестными параметрами задачи, прочитать рисунок или его выполнить, составить логическую схему решения задачи и в заключении записать ее в буквенно-цифровом виде.

Четвертое задание открытого типа оценивает знания основных определений и понятий (табл. 4). Это задание представляет сложность для введение в него элементов профессиональной направленности. Так как, оценивают фундаментальные классические знания теоретической механики и сопротивлению материалов.

Таблица 3 - Задание открытого типа с развернутым ответом/задача

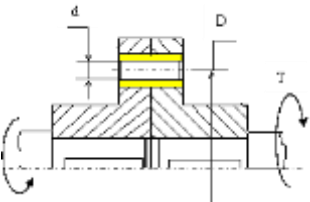
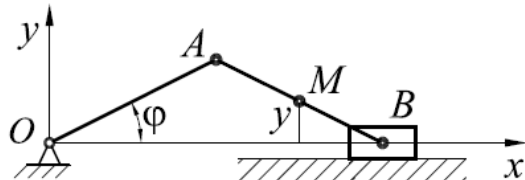
Содержание вопроса	Правильный ответ
В вариаторе притирочного станка ведущий вал фрикционной передачи, вращаясь равноускоренно, достиг угловой скорости 20 рад/с через 10 оборотов после начала вращения. Найти угловое ускорение колеса. Дано: $\omega=20$ рад/с, $N=10$ об.	При равномерном вращательном движении $\varphi=\varphi_0+\omega_0 t+\varepsilon t^2/2$ и $\omega=\omega_0+\varepsilon t$ . По условию $\omega_0=0$ , тогда эти уравнения примут вид: $\varphi=\varepsilon t^2/2$ и $\omega=\varepsilon t$ . Решая их и учитывая, что $\varphi=2\pi N$ , получим окончательно $\varepsilon=\omega^2/4\pi N=3,2$ рад/с. <b>Ответ:</b> 3,2 рад/с
 <p>Определить усилия действующие на срезной пальца в показанной на рисунке муфте. Если диаметр <math>D=200</math> мм, количество пальцев <math>n=4</math>. Величина крутящего момента <math>T=2000</math> Н м.</p>	Усилие возникающие в пальце равно $P = \frac{T}{R} = \frac{2T}{D},$ $P = \frac{2 \cdot 2000}{0,2} = 20000 \text{ Н}$ <b>Ответ:</b> 20 кН
Определить уравнение траектории, скорость и ускорение середины $M$ шатуна кривошипно-ползунного механизма, если $OA=AB=2a$ , $\varphi=3\omega t$ (рис 2.6), $\omega$ – постоянная величина. 	$x = 2a \cos \varphi + a \cos \varphi, y = a \sin \varphi$ . Заменяя $\varphi$ его значением, получаем уравнения движения Точки $M$ : $x = 3a \cos 3\omega t, y = a \sin 3\omega t$ . Для определения уравнения траектории точки $M$ уравнения движения представим в виде $\frac{x}{3a} = \cos \omega t, \frac{y}{a} = \sin 3\omega t$ . Возведя эти равенства почленно в квадрат и складывая, получим $\frac{x^2}{9a^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1$ , т.е. траекторией точки $M$ является эллипс с полуосями $3a$ и $a$ . $V_x = -9a\omega \cdot \sin 3\omega t,$ $V_y = 3a\omega \cdot \cos 3\omega t;$ $V = 3a\omega \sqrt{9 \sin^2 3\omega t + \cos^2 3\omega t} = 3a\omega \sqrt{1 + 8 \sin^2 3\omega t}.$ $a_x = -27a\omega^2 \cos 3\omega t,$ $a_y = -9a\omega^2 \sin 3\omega t,$ $a = 9a\omega^2 \sqrt{9 \cos^2 3\omega t + \sin^2 3\omega t} = 9a\omega^2 \sqrt{1 + 8 \cos^2 3\omega t}.$ <b>Ответ:</b> $9a\omega^2 \sqrt{1 + 8 \cos^2 3\omega t}.$

Таблица 4 - Задания открытого типа с кратким ответом/вставить термин, словосочетание ....., дополнить предложенное

Содержание вопроса	Правильный ответ
К какому простейшему виду можно привести систему сил, если известно, что главный момент этих сил относительно различных точек пространства равен нулю	к равнодействующей силе
Какое движение совершает кривошип в кривошипно-ползунном механизме:	плоско-параллельное

Задания и задачи, представленные в ФОСе должны соответствовать содержанию рабочей программы и обеспечивать формирование заявленных компетенций. Виды и количество тестов определены соответствующими правилами. Задачи и тесты представленные в ФОСе по технической механике наземных транспортных-технологических средств были апробированы в 2024-2025г учебном году. Наблюдение за работой студентов, показало повышенный интерес к задачам, содержащих элементы профессиональной направленности.

#### Результаты и обсуждение

Для создания единой комплексной программы совершенствования форм и методов обучения технической механике необходима целеустремленная деятельность преподавателя, направленная на разработку и использование таких форм, методов и средств обучения, кото-

рые способствуют повышению интереса к своей профессиональной деятельности, формированию умений и навыков, необходимых в практической деятельности. Реализация ФОС с помощью цифровой образовательной среды университета позволит осуществить обучающую программу, положенную в основу технологии преподавания технической механики, направленную на овладение профессиональными компетенциями. В ОГУ имени Тургенева такое тестирование организовано на платформе MOODLE, которая позволяет составлять различные типы тестовых заданий.

### **Выводы**

Образовательные программы дисциплин должны быть ориентированы на приобретение знаний, необходимых для профессиональной деятельности. Разработка фонда оценочных средств по технической механике наземных транспортных и технологических средств для транспортных специальностей требует от преподавателя не только знаний классической механики, сопромата, но и знакомства с транспортными средствами. Поэтому необходимо постоянное взаимодействие преподавателей, читающих общепрофессиональные дисциплины, с профессорско-преподавательским составом выпускающих кафедр. От этого будет зависеть эффективность разработки рабочих программ и содержащихся в них фондов оценочных средств, в конечном счете и уровень компетентности будущих инженеров-транспортников. В ОГУ имени И.С. Тургенева при изучении технической механики используют технологии обучения, направленные на формирование личностного профессионализма у студентов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гараев Т.Р. Технологический суверенитет: от концептуальных противоречий к практической реализации // Сколковский институт науки и технологий [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm>.
2. Ключевые проблемы и перспективы развития конструкций, технического сервиса и эксплуатации наземных транспортных и транспортно-технологических средств и комплексов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых исследователей. Зелиноград: Донской государственный аграрный университет. 2024. 131 с.
3. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - специалитет по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (уровень специалитета): Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 11 августа 2020 г. №93. [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/004>.
4. Белова Е.Н., Андрушкина Е.Ю. Реализация концепции «Университет 4.0» в Сибирском федеральном округе // Вестник Томского государственного педагогического университета (Tomsk State Pedagogical University Bulletin). 2024. Вып. 2 (232). С. 82-90.
5. Рабочая программа высшего образования, специалитет. 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева [Электронный ресурс]. URL: [https://oreluniver.ru/public/file/edu/15.03.05/360/2026/\\_15.03.05\\_360](https://oreluniver.ru/public/file/edu/15.03.05/360/2026/_15.03.05_360).
6. Рабочая программа высшего образования, специалитет. 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства. Москва: МГТУ имени М.Э. Баумана [Электронный ресурс]. URL: <https://kfbmstu.info/15.05.01-mk1>.
7. Рабочая программа высшего образования, специалитет 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства. Москва: Российский университет транспорта [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mii.ru/page/>.
8. Рабочая программа высшего образования, специалитет. 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства. Московский государственный строительный университет [Электронный ресурс]. URL: <https://mgsu.ru/postupayushchim/Bakalavriat>.
9. Бобожинова И.И. Профессионально направленное обучение студентов посредством реализации курса «Техническая механика» // Мир образования - образование в мире. 2020. №1 (77). С. 74-77.
10. Козлова И.М., Соколов В.А. «техническая механика» в подготовке специалистов технологического направления // Современный ученый 2021. №6. С. 163-166.
11. Кувшинова Н.Н. Особенности преподавания студентам дисциплины «Техническая механика» // Инновационные технологии в образовательной деятельности: Материалы Международной научно-методической конференции. Нижний Новгород. 2025. С. 112-115.
12. Лавриков В.А., Титенков В.В. Применение программного обеспечения для расчетов в технической механике // Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодежного форума. Белгород, 2023. С. 65-69.
13. Гарифулина Г.И. Особенности преподавания прикладной механики в техническом вузе // Актуальные вопросы высшего образования – 2024: Материалы Международной научно-методической конференции. Уфа, 2024. С. 183-188.
14. Белобородова Т.Г. Автоматизированный контроль результатов обучения дисциплине «Техническая механика» // Актуальные проблемы науки и образования в современном вузе: Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. Стерлитамак, 2024. С. 423-427.
15. Алексеев А.В., Гергенов С.М. Многоуровневый подход формирования цифровых компетенций в ОПОП по специальности 23.05.01. Наземные транспортно-технологические средства // Цифровой университет:

совершенствование организации обучения и стратегия развития образования в условиях цифровизации: Материалы всероссийской научно-методической конференции с международным участием. Улан-Удэ, 2023. С. 8-13.

16. Грядунова Е.Н., Серебрянников А.Д., Якунина М.А. Анализ и оценка цифровой образовательной среды университета при использовании в обучении на технических направлениях подготовки [Электронный ресурс] / Ученые записки Орловского Государственного университета. 2024. №1(102). С. 212-217. URL: <https://oreluniver.ru/>.

17. Влахова А.В., Новадерова А.П. Модель переменной структуры для исследования заноса четырехколесного аппарата с пробуксовывающими колесами [Электронный ресурс] / Вестник Московского университета. Серия 1. Математика. Механика 2024. №3. С. 40-45. URL: <https://cyberleninka.ru>.

18. Абакумов А.М., Горячкин А.А., Овсянников В.Н. Математические модели и структуры системы стабилизации поперечной устойчивости автомобиля // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2023. Т. 31. №1(77). С. 60-75.

19. Дмитриева А.С., Тимофеев В.С., Енаев А.А. Математическая модель торможения автомобиля при возникающих колебаниях [Электронный ресурс] / Современные инновации в технике и производстве: Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, серия: Автомобильный транспорт. 2021. С. 254-258. URL: <https://ya.ru/search>.

20. Куров А.В., Медведев В.О., Соломатина Д.И. Визуализация движения автомобиля в горку в соответствии с разработанной математической моделью импульсного управления двигателем // Символ науки: международный научный журнал. 2017. Т. 2. №4. С. 76-82.

**Грядунова Елена Николаевна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29

К.т.н., доцент кафедры мехатроники, механики и робототехники

E-mail: [gryadunova6565@mail.ru](mailto:gryadunova6565@mail.ru)

**Горин Андрей Владимирович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Адрес: 302030, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

К.т.н., доцент, кафедры мехатроники, механики и робототехники

E-mail: [gorin57@mail.ru](mailto:gorin57@mail.ru)

**Яковленко Оксана Владимировна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29

Студент

E-mail: [rodfox@yandex.ru](mailto:rodfox@yandex.ru)

**Акимочкина Ольга Александровна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Адрес: 302030, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Студент

E-mail: [tvk5876@rambler.ru](mailto:tvk5876@rambler.ru)

---

E.N. GRYADUNOVA, A.V. GORIN, O.V. YAKOVLENKO, O.A. AKIMOSHKINA

## FEATURES OF THE LAYOUT OF THE FUND OF EVALUATION TOOLS IN TECHNICAL MECHANICS FOR TRANSPORT DIRECTIONS OF PREPARATION

**Abstract.** The article considers the problem of compiling a fund of assessment tools for the discipline «Technical Mechanics of Land Transport and Technological Means». A comparison of work programs of transport specialties and an analysis of funds of assessment tools for technical mechanics are carried out. The methods and means of compiling a fund of assessment tools are shown. Tests and tasks containing elements of professional orientation and ensuring the formation of the necessary competencies are presented

**Keywords:** technical mechanics, transport enterprise, work programs, assessment tools funds, test, task

### BIBLIOGRAPHY

1. Garaev T.R. Tekhnologicheskiiy suverenitet: ot kontseptual'nykh protivorechiy k prakticheskoy realizatsii // Skolkovskiy institut nauki i tekhnologii [Elektronnyy resurs]. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/viewtm>.

2. Klyuchevye problemy i perspektivy razvitiya konstruktivnykh, tekhnicheskogo servisa i ekspluatatsii nazemnykh transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh sredstv i kompleksov // Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i molodykh issledovateley. Zelinograd: Donskoy gosudarstvennyy agrarnyy uni-

versitet. 2024. 131 s.

3. Ob utverzhdenii federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta vysshego obrazovaniya - spetsialitet po spetsial'nosti 23.05.01 Nazemnye transportno-tekhnologicheskie sredstva (uroven' spetsialitet): Prikaz Ministerstva nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii ot 11 avgusta 2020 g. №93. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/004>.

4. Belova E.N., Andryushkina E.YU. Realizatsiya kontseptsii "Universitet 4.0" v Sibirskom federal'nom okruge // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta (Tomsk State Pedagogical University Bulletin). 2024. Vyp. 2 (232). S. 82-90.

5. Rabochaya programma vysshego obrazovaniya, spetsialitet. 23.05.01 Nazemnye transportno-tekhnologicheskie sredstva. Orel: OGU im. I.S. Turgeneva [Elektronnyy resurs]. URL: [https://oreluniver.ru/public/file/edu/15.03.05/360/2026/\\_15.03.05\\_360](https://oreluniver.ru/public/file/edu/15.03.05/360/2026/_15.03.05_360).

6. Rabochaya programma vysshego obrazovaniya, spetsialitet. 23.05.01 Nazemnye transportno-tekhnologicheskie sredstva. Moskva: MGTU imeni M.E. Baumana [Elektronnyy resurs]. URL: <https://kfbmstu.info/15.05.01-mk1>.

7. Rabochaya programma vysshego obrazovaniya, spetsialitet 23.05.01 Nazemnye transportno-tekhnologicheskie sredstva. Moskva: Rossiyskiy universitet transporta [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.mii.ru/page/>.

8. Rabochaya programma vysshego obrazovaniya, spetsialitet. 23.05.01 Nazemnye transportno-tekhnologicheskie sredstva. Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet [Elektronnyy resurs]. URL: <https://mgsu.ru/postupayushchim/Bakalavriat>.

9. Bobozhonova I.I. Professional'no napravlennoe obuchenie studentov posredstvom realizatsii kursa «Tenicheskaya mekhanika» // Mir obrazovaniya - obrazovanie v mire. 2020. №1 (77). S. 74-77.

10. Kozlova I.M., Sokolov V.A. «Tekhnicheskaya mekhanika» v podgotovke spetsialistov tekhnologicheskogo napravleniya // Sovremennyy uchenyy 2021. №6. S. 163-166.

11. Kuvshinova N.N. Osobennosti prepodavaniya studentam distsipliny «Tekhnicheskaya mekhanika» // Innovatsionnye tekhnologii v obrazovatel'noy deyatel'nosti: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. Nizhniy Novgorod. 2025. S.112-115.

12. Lavrikov V.A., Titenkov V.V. Primenenie programmnoy obespecheniya dlya raschetov v tekhnicheskoy mekhanike // Nauka. Proizvodstvo: Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma. Belgorod, 2023. S. 65-69.

13. Garifulina G.I. Osobennosti prepodavaniya prikladnoy mekhaniki v tekhnicheskoy vuzе // Aktual'nye voprosy vysshego obrazovaniya - 2024: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. Ufa, 2024. S. 183-188.

14. Beloborodova T.G. Avtomatizirovanny kontrol' rezul'tatov obucheniya distsipline «Tekhnicheskaya mekhanika» // Aktual'nye problemy nauki i obrazovaniya v sovremennom vuzе: Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sterlitamak, 2024. S. 423-427.

15. Alekseev A.V., Gergenov S.M. Mnogourovnevnyy podkhod formirovaniya tsifrovyykh kompetentsiy v OPOP po spetsial'nosti 23.05.01. Nazemnye transportno-tekhnologicheskie sredstva // Tsifrovoy universitet: sovershenstvovanie organizatsii obucheniya i strategiya razvitiya obrazovaniya v usloviyakh tsifrovizatsii: Materialy vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Ulan-Ude, 2023. S. 8-13.

16. Gryadunova E.N., Serebryannikov A.D., YAkunina M.A. Aaliz i otsenka tsifrovoy obrazovatel'noy sredy universiteta pri ispol'zovanii v obuchenii na tekhnicheskikh napravleniyakh podgotovki [Elektronnyy resurs] / Uchenye zapiski Orlovskogo Gosudarstvennogo universiteta. 2024. №1(102). C. 212-217. URL: <https://oreluniver.ru/>.

17. Vlachova A.V., Novaderova A.P. Model' peremennoy struktury dlya issledovaniya zanosy chetyrekh-kolesnogo apparata s probuksovyvayushchimi kolesami [Elektronnyy resurs] / Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 1. Matematika. Mekhanika 2024. №3. S. 40-45. URL: <https://cyberleninka.ru>.

18. Abakumov A.M., Goryachkin A.A., Ovsyannikov V.N. Matematicheskie modeli i struktury sistemy stabilizatsii poperechnoy ustoychivosti avtomobili // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2023. T. 31. №1(77). S. 60-75.

19. Dmitrieva A.S., Timofeev V.S., Enaev A.A. Matematicheskaya model' tormozheniya avtomobilya pri voznikayushchikh kolebaniyakh [Elektronnyy resurs] / Sovremennyye innovatsii v tekhnike i proizvodstve: Sbornik materialov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, seriya: Avtomobil'nyy transport. 2021. S. 254-258. URL: <https://ya.ru/search>.

20. Kurov A.V., Medvedev V.O., Solomatina D.I. Vizualizatsiya dvizheniya avtomobilya v gorku v sootvetstvi s razrabotannoy matematicheskoy model'yu impul'snogo upravleniya dvizhitelem // Simvol nauki: mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. 2017. T. 2. №4. S. 76-82.

#### **Gradynova Elena Nikolaevna**

Orel State University

Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29

Candidate of technical sciences

E-mail: [gryadunova6565@mail.ru](mailto:gryadunova6565@mail.ru)

#### **Gorin Andrei Vladimirovich**

Orel State University

Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29

Candidate of technical sciences

E-mail: [gorin57@mail.ru](mailto:gorin57@mail.ru)

#### **Yakovlenko Oksana Vladimirovna**

Orel State University

Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29

Student

E-mail: [rodfox@yandex.ru](mailto:rodfox@yandex.ru)

#### **Akimochkina Olga Aleksandrovna,**

Orel State University

Address: 302026, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29

Student

E-mail: [tvk5876@rambler.ru](mailto:tvk5876@rambler.ru)

УДК.629.331

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-3(90)-94-101

И.А. НОВИКОВ, Д.А. ЛАЗАРЕВ

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРИТЕРИЯ «ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ТИПАЖ ЛИЧНОСТИ ВОДИТЕЛЯ» НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

**Аннотация.** В дорожно-транспортных системах оценки безопасности дорожного движения (далее БДД) уделяется значительное внимание определению характеристик и возможностей водителя. Данный факт связан с тем, что водитель в системах оценки является флуктуационной системой и паттерны его поведения могут быть недостаточно прогнозируемы. Это в первую очередь связано как с поведенческим формированием личности в социуме, так и с устоявшимся психологическим типажом личности водителей. И если первый критерий имеет сложные поведенческие паттерны формирования, то второй можно идентифицировать. В данной работе приведено междисциплинарное мета-исследование различных психофизиологических исследований на предмет корреляции различных типов личности и применяемых ими стилей вождения, а также выявлена корреляция между психотипами и вероятностью возникновения дорожно-транспортного происшествия (далее ДТП) с целью оценки БДД.

**Ключевые слова:** Безопасность дорожного движения, водитель, психологический типаж, мета-анализ, вероятность дорожно-транспортного происшествия, стили вождения

### Введение

Критерий *Психологический типаж личности* определяет стиль управления транспортным средством. Существует множество вариаций относительно данного критерия в способах оценки, однако, каждый из них в основном оперирует психологическими типажми (темпераментами), которые служат для оценки психологического характера и состояния человека с целью определения его поведенческих особенностей. В отношении оценки водителей с точки зрения приемов их вождения данная классификация не совсем верна, поскольку характер не отражает поведение человека при управлении транспортным средством [1, 2]. Намного адекватнее использовать модель оценки личности «Большая пятёрка» Цукермана-Кульмана. Данная модель подразумевает пять основных черт характера человека (рисунок 1). Для оценки данных критериальных характеров типов личности был создан Личностный опросник Цукермана-Кульмана (ZKPQ), состоящий из 99 пунктов в формате true-false [3].



Рисунок 1 – Основные черты характера личности по модели Цукермана-Кульмана (ZKPQ)



Однако, корреляция данных типов личности с основными видами темперамента хоть и просматривается, однако, не очевидна. Для этого необходимы более углубленные научные исследования. Кроме того, данные указанные типажы личности также не дают представления о стилях вождения. Однако, исследование корреляции личностных психологических черт с определенными стилями вождения хоть и не проводились целенаправленно и отсутствуют системные исследования в данном направлении, однако, в ряде работ наблюдаются опосредованные исследования, касающиеся взаимосвязи модели оценки личности Цукермана-Кульмана (ZKPQ) со стилями вождения [4, 5].

### Материал и методы

Так, в своих работах, независимо друг от друга, Nebi Sümer и Tingru Zhang в соавторстве с Alan H.S. Chan выявляет сильную положительную корреляцию ( $r = 0.25-0.35$ ) между чертой Агрессия-враждебность в ZKPQ с агрессивным стилем вождения транспортного средства [6, 7].

Аналогичные результаты в своей работе получили аргентинские исследователи Fernando Poó и Ruben Daniel Ledesma, однако, в своих исследованиях охватили более широкий массив корреляционных изысканий в отношении стилей вождения и чертами характера модели оценки ZKPQ. Так, ими также выявлена сильная положительная корреляция ( $r = 0.20-0.35$ ) рискованного стиля вождения с чертой Импульсивный поиск ощущений [8].

Иных корреляционных связей черт характера со стилями вождения указанные выше авторы не выявили. Ниже приведена, в качестве примера, общая таблица (табл. 1, сопутствующие таблицы из исследования не указаны) регрессионных исследований Fernando Poó и Ruben Daniel Ledesma, как наиболее полное исследования по двум параметрам критерия.

Таблица 1 - Описательная статистика, средние различия и размер эффекта для шкал личности и стиля вождения

Переменные		Альфа Кронбаха	Общая выборка		Выборка мужчин (N = 524)		Выборка женщин (N = 381)		t	d
			среднее значение	стандартное отклонение	среднее значение	стандартное отклонение	среднее значение	стандартное отклонение		
Личностные черты	Импульсивный поиск ощущения	.73	8.2	4.7	8.90	4.59	7.36	4.69	-4.89*	.33
	Агрессия-враждебность	.70	4.3	2.4	4.65	2.49	3.82	2.37	-5.01*	.34
	Невротизм-беспокойство	.70	2.5	2.1	2.26	1.87	2.87	2.22	4.46*	-.29
	Активность	.73	4.8	2.6	4.85	2.59	4.93	2.68	0.44ns	
	Общительность	.72	4.9	2.5	4.66	2.51	5.43	2.62	4.44	-.30
Стили вождения	Рискованный	.85	13.7	5.2	17.48	8.45	13.24	5.60	-8.51*	.59
	Агрессивный	.75	19.6	6.4	14.53	5.34	12.58	4.80	-5.62*	.38
	Диссоциативное	.76	19.6	6.4	18.98	6.24	20.64	6.55	3.84*	-.26
	Тревожный	.69	9.01	3.7	8.53	3.46	9.63	3.90	4.47*	-.29
	Осторожный	.75	40.9	7.1	39.93	7.29	42.41	6.53	5.24*	-.36

\*\* $P < .001$ .

В отношении осторожного стиля вождения умеренная положительная корреляционная связь ( $r \approx 0.20$ ) была установлена южноафриканскими исследователями Shaneel Bachoo, Anil Bhagwanjee, Kaymarlin Govender в отношении черты Активность (табл. 2, смежные таблицы не указаны) [9].



Таблица 2 - Корреляции между подшкалами Гнев водителя (DAS), Импульсивного поведения (UPPS) и Рискованное поведение при вождении (SR-RDB) при выборке n = 306.

	Гнев водителя (DAS)	Отсутствие преднамеренности	Чувство срочности	Ощущение поиска	Отсутствие настойчивости
Рискованное поведение при вождении (SR-RDB)	-.152*	-.351**	-.328**	-.221**	-.227**
Нарушение правил дорожного движения/превышение скорости	.172**	.186**	.254**	.218**	.078
Неосторожное вождение	.077	.248**	.212**	.084	.185**
Использование ремней безопасности	-.046	-.033	-.119*	-.155**	-.064
Осторожное и бдительное вождение	-.040	-.189**	-.211**	.004	-.224**
Вождение в нетрезвом виде	.074	.267**	.196**	.221**	.144*
Внимательность к детям в пробках	-.039	-.306**	-.204**	-.019	-.252**
*P < .05., **P < .01.					

Сильную положительную корреляцию ( $r = 0.15-0.25$ ) между чертой Невротизм-Тревожность и тревожным стилем вождения выявили британские ученые Joshua D. Clapp, Shira A. Olsen, J. Gayle Beck, Sarah A. Palyo, DeMond M. Grant, Berglind Gudmundsdottir, Luana Marques, а также израильский ученый Amit Shahar, проводившие исследования в своих странах соответственно независимо друг от друга (табл. 3) [10, 11].

Таблица 3 - Средства, стандартные отклонения и взаимосвязи между подшкалами исследования поведения водителей (DBS), конвергентными показателями и показателями социальной желательности.

Выборка N = 276	DEF	CAUT	ANG	DSQ	DRAS	M	
DEF						2.02	
CAUT	.21**					3.88	
ANG	.27**	.06				2.68	
DSQ	-.46**	-.10	-.06			8.36	
DRAS	.19**	.33**	.16**	-.26**		7.81	
Выборка N = 244	DEF	CAUT	ANG	DSQ	DRAS	DAS	M
DEF							1.95
CAUT	.13*						3.87
ANG	.32**	.15*					2.81
DSQ	-.43**	-.11	-.01				8.50
DRAS	.22**	.16*	.08	-.32**			7.19
DAS	.23**	.03	.43**	-.14*	.18*		45.84
BIDR-SD	-.41**	-.04	-.02	.41**	-.10	-.12	87.09
BIRD-IM	-.12	.10	-.28**	.04	-.01	-.29**	70.47
*P < .05., **P < .01.							

В таблице приведены следующие аббревиатуры: DEF – недостаток допустимого поведения на основе тревоги DBS; CAUT – превышение допустимого поведения DBS с точки зрения безопасности/осторожности; ANG – агрессивное/враждебное поведение, основанное на тревоге DBS; DSQ – анкета о навыках вождения; DRAS – Шкала отказа от вождения; DAS – Шкала гнева (агрессии) при вождении; BIDR-SD – Сбалансированный перечень желательных ответов - самообман; BIDR-IM – Сбалансированный перечень желательных респондентов - Управление впечатлениями.

В своем мета-анализе, который обобщает данные из множества исследований за 20 лет, китайские исследователи Tingru Zhang и Alan H.S. Chan указывают, что примерная корреляция результатов исследований в целом не зависит от места расположения респондентов, что позволяет проецировать описанные выше модели на нашу страну. Однако, для более точной интерпретации рекомендуется проведение дополнительных локальных исследований [7].

### Теория

Ориентируясь на описанное выше, можно сформировать модель термов по критерию «Психологический типаж личности». Данная модель подразумевает следующие основные стили управления транспортным средством (с предложенными автором корреляциями с психологическими типажми личности для понимания модели в целом):

1) *агрессивный стиль* (Агрессия-враждебность в ZKPQ – прекрасно справляются с вождением на высокой скорости и в целом управляют движением автомобиля. Проблемы возникают при торможении и оценке дистанции),

2) *рискованный стиль* (Импульсивный поиск ощущений в ZKPQ – очень работоспособны и энергичны. Они любят разнообразие в вождении, разучивают хитрые повороты и финты. Между тем именно они совершают больше всех ошибок за рулем, их эксперименты и склонность к риску могут привести к ДТП),

3) *осторожный стиль* (Активность в ZKPQ – с трудом могут управляться с автомобилем на высокой скорости, но осторожны и не станут подвергать риску себя и автомобиль),

4) *тревожный стиль* (Невротизм-Тревожность в ZKPQ – очень чувствительны к раздражителям, они наиболее педантичны в отношении правил дорожного движения. Но им трудно сосредотачивать внимание и ехать в плотном городском потоке и условиях стресса).

Подобное распределение типажей личности позволяет классифицировать и оценивать степень влияния характера личности на его стиль вождения, а следовательно, и степень влияния на безопасность дорожного движения. Также, для ранжирования перечисленных выше термов было проведено исследование работ в части влияния стилей вождения (или черт характера личности) на риск возникновения дорожно-транспортного происшествия.

Так, указанные выше авторы Tingru Zhang и Alan H.S. Chan в своем мета-анализе о связи агрессии за рулем с агрессивным вождением установили сильную положительную связь (коэффициент корреляции  $r = 0.312$ ) между агрессивным поведением за рулем и вероятностью опасных ситуаций, которые могут привести к ДТП. К аналогичному выводу приходит и Nebi Sümer в своем исследовании. У него агрессивные нарушения коррелируют с частотой ДТП с коэффициентом около  $r = 0.25-0.30$  [6, 7].

Так же Tingru Zhang и Alan H.S. Chan в том же мета-анализе указывают на умеренную положительную корреляцию ( $r = 0.243$ ) между рискованным стилем вождения и вероятностью возникновения ДТП [7].

В случае с осторожным стилем вождения, то в своем исследовании Taubman-Ben-Ari с использованием Multidimensional Driving Style Inventory (MDSI) показали, что данный стиль имеет отрицательную корреляцию с количеством нарушений и ДТП, с корреляцией  $r = -0.15$  до  $-0.25$ . Такую же корреляцию с коэффициентом около  $r = -0.20$  в своем исследовании получили и Shaneel Bachoo, Anil Bhagwanjee, Kaymarlin Govender [9, 12].

Все те же авторы, которые исследовали тревожный стиль вождения у респондентов Joshua D. Clapp, Shira A. Olsen, J. Gayle Beck, Sarah A. Palyo, DeMond M. Grant, Berglind Gudmundsdottir, Luana Marques обнаружили, что тревожный стиль вождения имеет слабую

положительную корреляцию с ошибками вождения, с коэффициентом около  $r = 0.10 - 0.20$ , но связь с ДТП была менее выраженной и зависела от контекста. А их коллега из Израиля Amit Shahar показывал корреляцию тревожного стиля вождения (тревожности) с увеличением числа мелких происшествий на уровне коэффициента  $r = 0.15$ , но не всегда с серьезными происшествиями [10, 11]

### Результаты и обсуждение

Вследствие этого можно вывести следующую иерархию в терминах критерия *Психологический типаж личности* и установить их процентное влияние на изменение уровня безопасности дорожного движения (при выявлении факта того или иного типажа), которое представлено на рисунке 2.

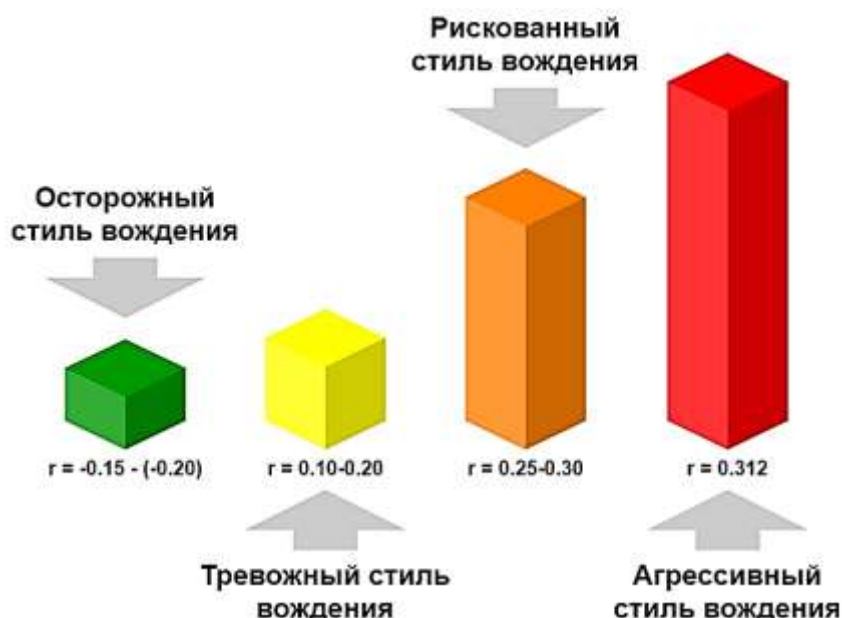


Рисунок 2 – Влияние термов Психологический типаж личности на риск возникновения аварийной ситуации и ДТП

В общем же виде корреляционный процессинг, проведенный нами в междисциплинарном мета-анализе исследований различных психофизиологов по всему миру, показал следующие зависимости: водители с типажом личности «Агрессия-враждебность» более склонны к совершению ДТП, в то время как водителя с типом личности «Активность» показывают большую способность к предотвращению аварийных ситуаций (рис. 3).



Рисунок 3 – Корреляционные зависимости между чертами характера личности и вероятностью возникновения ДТП

Следует отметить, что на рисунках показаны корреляционные величины, используемые психофизиологами в своих исследованиях, степень значимости которой определяют величиной  $P$  (в таблицах нижние значения), где  $P^*$  – означает, что корреляция статистически значима на уровне, например,  $p < 0.05$  (вероятность случайности результата менее 5 %), а  $P^{**}$  – означает высокую значимость на уровне, например,  $p < 0.01$  (вероятность случайности менее 1 %).

Поскольку данный мета-анализ проводился с целью определения термов влияния психологический типаж личности водителя на безопасность дорожного движения в предложенной авторами Многокритериальной информационной интегральной системе оценки БДД (МИИС) [13-15], то на рисунке 4 показано распределение термов в графике функции принадлежности этой системы.

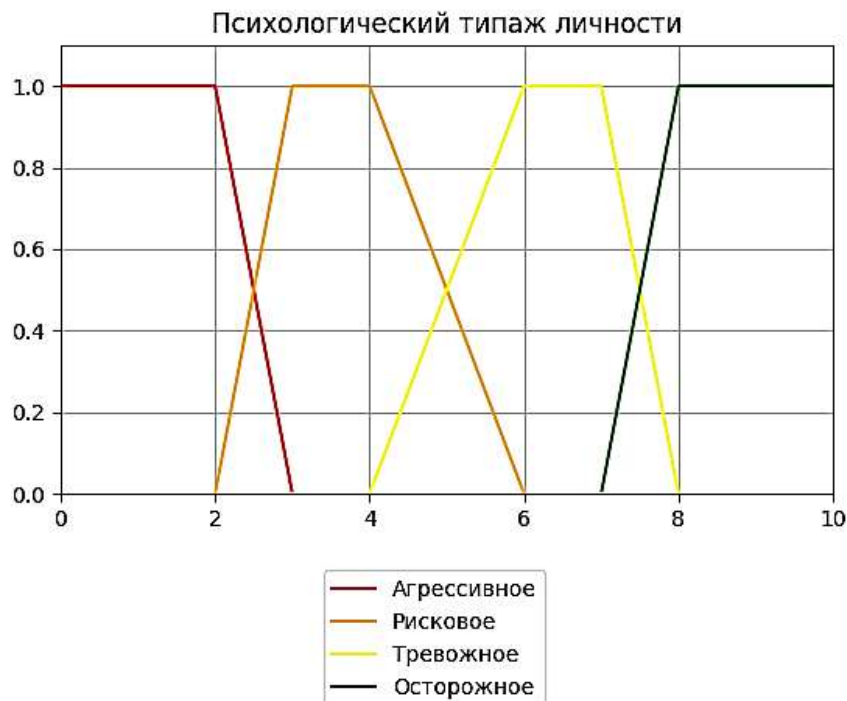


Рисунок 4 – График функции принадлежности критерия Психологический типаж личности.

### Выводы

Таким образом предложенное решение по формированию термов оценки критерия «Психологический типаж личности» в Многокритериальной информационной интегральной системе оценки БДД (МИИС), предложенной авторами [14], позволит учесть сложный субъективный параметр (темперамент личности водителя) и особенности его вождения при оценке влияния на дорожную аварийность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клеббельсберг Д. Транспортная психология. М.: Транспорт, 1989. 368 с.
2. Подопригра Н.В. Структура и функционирование системы «Водитель-Автомобиль-Дорога-Внешняя среда» // Вестник гражданских инженеров. 2022. №2(91).
3. Zuckerman M., Kuhlman D.M., Teta P., Joireman J., Kraft M. A comparison of three structural models of personality: the big three, the big five, and the alternative five // Journal of Personality and Social Psychology. 1993. №65. P. 757-768.
4. Ключин А.Ю. Задачи построения интеллектуальной информационной системы управления безопасностью дорожного движения // Программные продукты и системы выпуск. №4. 2020.
5. Лазарев Д.А., Лазарев Д.А., Зиборова Е.И. Жихарев А.Г. Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы в сфере безопасности дорожного движения путем внедрения методологии комплексного определения составляющих механизма дорожно-транспортных происшествий // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-3 (84). С. 71-81.
6. Nebi Sumer. Personality and behavioral predictors of traffic accidents: Testing a contextual mediated model // Accident Analysis & Prevention. №35(6). 2003949-64. DOI: 10.1016/S0001-4575(02)00103-3.

7. Zhang et al. The association between driving anger and driving outcomes: A meta-analysis of evidence from the past twenty years // *Accid. Anal. Prev.* 2016. №90. P. 50-62. DOI: 10.1016/j.aap.2016.02.009.
8. Fernando Poo, Ruben Daniel Ledesma. A Study on the Relationship Between Personality and Driving Styles // *Traffic Injury Prevention*. №14(4). P. 346-352. DOI: 10.1080/15389588.2012.717729.
9. Shaneel Bachoo et al. The influence of anger, impulsivity, sensation seeking and driver attitudes on risky driving behaviour among post-graduate university students in Durban, South Africa // *Accident Analysis & Prevention*. №55. C. 67-76. DOI: 10.1016/j.aap.2013.02.021.
10. Joshua D. Clapp et al. The Driving Behavior Survey: scale construction and validation // *Journal of Anxiety Disorders*. №25. 2011. P. 96-105. DOI: 10.1016/j.janxdis.2010.08.008.
11. Amit Shahar. Self-reported driving behaviors as a function of trait anxiety // *Accident Analysis & Prevention*. №41(2). 241-5. DOI:10.1016/j.aap.2008.11.004.
12. Orit Taubman-Ben-Ari, Mario Mikulincer, Omri Gillath. The multidimensional driving style inventory-scale construct and validation // *Accid Anal Prev.* 2004. №36(3). P. 323-32. DOI: 10.1016/S0001-4575(03)00010-1.
13. Лазарев Д.А., Гринякин Р.В., Стрекалов Д.П., Шаталов Е.В. Применение цифровых алгоритмов при оптимизации процесса расследования дорожно-транспортных происшествий // *Воронежский научно-технический вестник*. № 4(46). 2023. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-107-119.
14. Иващук О.Д., Бекетов Я.М., Новиков И.А., Лазарев Д.А. Интеллектуальная система оценки уровня безопасности дорожного движения на участке улично-дорожной сети: св-во о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025660188; дата гос. рег. 22.04.2025.
15. Черных В.С., Жихарев А.Г., Мартон Н.А., Лазарев Д.А. Интеллектуальная система обработки изображений с места ДТП: св-во о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025614664; дата гос.рег. 25.02.2025.

**Новиков Иван Алексеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, улица Костюкова, 46

Д.т.н., профессор, директор транспортно-технологического института, профессор кафедры «Эксплуатации и организации движения автотранспорта»

E-mail: ooows@mail.ru

**Лазарев Дмитрий Александрович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, улица Костюкова, 46

К.т.н., доцент кафедры «Эксплуатации и организации движения автотранспорта»

E-mail: avtotech31@mail.ru

---

I.A. NOVIKOV, D.A. LAZAREV

## IMPACT ASSESSMENT OF THE «DRIVER'S PSYCHOLOGICAL TYPE» CRITERION ON ROAD TRAFFIC SAFETY

**Abstract.** *In road traffic safety assessment systems, significant attention is paid to evaluating driver characteristics and capabilities. This is due to the fact that, within such systems, the driver represents a fluctuating system whose behavioral patterns are not always predictable. This is primarily due to both behavioral personality formation in society and the driver's psychological type. While the first criterion has complex behavioral patterns, the second one can be identified. This article presents an interdisciplinary meta-analysis of psychophysiological studies aimed to identify correlations between different psychological types and driving styles, as well as creating link between psychological profiles and the probability of road traffic accidents for traffic safety assessment.*

**Keywords:** *road-traffic safety, driver, psychological type, meta-analysis, probability of road traffic accident, driving style*

### BIBLIOGRAPHY

1. Klebel'sberg D. *Transportnaya psikhologiya*. M.: Transport, 1989. 368 s.
2. Podoprigora N.V. *Struktura i funktsionirovanie sistemy "Voditel'-Avtomobil'-Doroga-Vneshnyaya sreda"* // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2022. №2(91).
3. Zuckerman M., Kuhlman D.M., Teta P., Joireman J., Kraft M. A comparison of three structural models of personality: the big three, the big ve, and the alternative ve // *Journal of Personality and Social Psychology*. 1993. №65.

R. 757-768.

4. Klyushin A.YU. Zadachi postroeniya intellektual'noy informatsionnoy sistemy upravleniya bezopasnost'yu dorozhnogo dvizheniya // Programmnye produkty i sistemy vypusk. №4. 2020.

5. Lazarev D.A., Lazarev D.A., Ziborova E.I. ZHikharev A.G. Sovershenstvovanie dorozhno-transportnoy ekspertizy v sfere bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya putem vnedreniya metodologii kompleksnogo opredeleniya sostavlyayushchikh mekhanizma dorozhno-transportnykh proissheshtviy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №1-3 (84). S. 71-81.

6. Nebi Sumer. Personality and behavioral predictors of traffic accidents: Testing a contextual mediated model // Accident Analysis & Prevention. №35(6). 2003949-64. DOI: 10.1016/S0001-4575(02)00103-3.

7. Zhang et al. The association between driving anger and driving outcomes: A metaanalysis of evidence from the past twenty years // Accid. Anal. Prev. 2016. №90. R. 50-62. DOI: 10.1016/j.aap.2016.02.009.

8. Fernando Poo, Ruben Daniel Ledesma. A Study on the Relationship Between Personality and Driving Styles // Traffic Injury Prevention. №14(4). R. 346-352. DOI: 10.1080/15389588.2012.717729.

9. Shaneel Bachoo et al. The influence of anger, impulsivity, sensation seeking and driver attitudes on risky driving behaviour among post-graduate university students in Durban, South Africa // Accident Analysis & Prevention. №55. C. 67-76. DOI: 10.1016/j.aap.2013.02.021.

10. Joshua D. Clapp et al. The Driving Behavior Survey: scale construction and validation // Journal of Anxiety Disorders. №25. 2011. R. 96-105. DOI: 10.1016/j.janxdis.2010.08.008.

11. Amit Shahrar. Self-reported driving behaviors as a function of trait anxiety // Accident Analysis & Prevention. №41(2). 241-5. DOI:10.1016/j.aap.2008.11.004.

12. Orit Taubman-Ben-Ari, Mario Mikulincer, Omri Gillath. The multidimensional driving style inventory-scale construct and validation // Accid Anal Prev. 2004. №36(3). R. 323-32. DOI: 10.1016/S0001-4575(03)00010-1.

13. Lazarev D.A., Grinyakin R.V., Strekalov D.P., Shatalov E.V. Primenenie tsifrovyykh algoritmov pri optimizatsii protsessa rassledovaniya dorozhno-transportnykh proissheshtviy // Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskiiy vestnik. № 4(46). 2023. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-107-119.

14. Ivashchuk O.D., Beketov YA.M., Novikov I.A., Lazarev D.A. Intellektual'naya sistema otsenki urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na uchastke ulichno-dorozhnoy seti: sv-vo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM №2025660188: data gos. reg. 22.04.2025.

15. Chernykh V.S., ZHikharev A.G., Marton N.A., Lazarev D.A. Intellektual'naya sistema obrabotki izobrazheniy s mesta DTP: sv-vo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM №2025614664; data gos.reg. 25.02.2025.

**Novikov Ivan Alekseevich**

Belgorod state technological university

Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46

Doctor of Technical Sciences

E-mail: ooows@mail.ru

**Lazarev Dmitry Alexandrovich**

Belgorod state technological university

Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46

Candidate of Technical Sciences

E-mail: avtotech31@mail.ru

УДК 629.018

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-3(90)-102-108

Н.В. ЛОБОВ, Н.А. РЕШЕТНИКОВ, А.И. ПОПОВ, М.А. ВАХРУШЕВ

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

**Аннотация.** Представлены результаты испытания малогабаритного асинхронного двигателя под нагрузкой, которая учитывает специфику работы электромобиля. Степень нагрева статора электродвигателя оценивалась при изменении трех независимых факторов: нагрузки, частоты тока статора и продолжительности работы. Приведена регрессионная математическая модель процесса и статистическая оценка ее значимости (адекватности).

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, электромобиль, тепловая напряженность, планируемый эксперимент

### Введение

Электродвигатели (ЭД), по причине простоты своей конструкции, хорошим удельным мощностным показателям и эффективности работы, все чаще применяются в качестве альтернативы традиционным поршневым двигателям. В следствие особенности протекания в ЭД физических процессов, они хорошо адаптируются под возрастающую нагрузку, но при этом обладают высокой склонностью к перегреву, по этой причине проблема тепловой напряженности асинхронных двигателей находится в фокусе внимания у исследователей. Так, например, в работе [1] анализируется влияние частоты тока на тепловые потери в статоре. В работе [2] предложены методы моделирования тепловых процессов в электродвигателях, а в научной статье [3] рассматриваются экспериментальные методы оценки перегрева в условиях переменной нагрузки. Эти работы подтверждают актуальность нашего исследования.

### Материал и методы

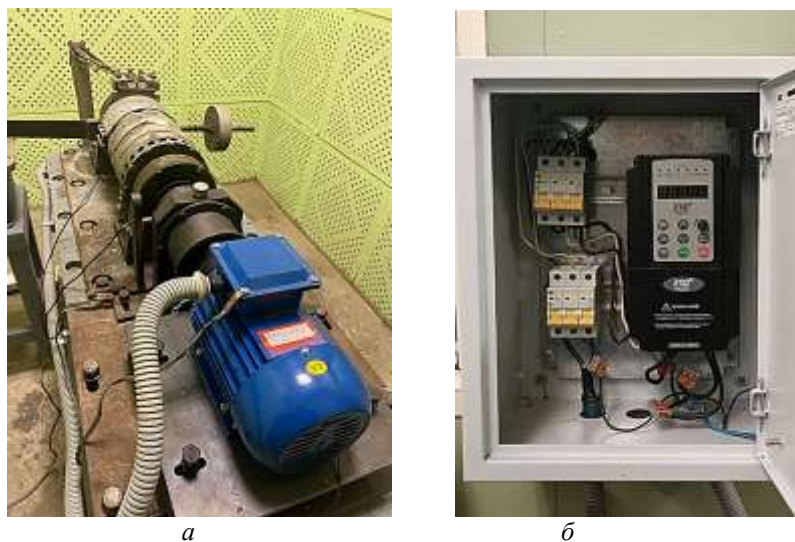
Исследование тепловой напряженности электродвигателя произведено при воздействии нагрузки, которая учитывает специфику работы электромобиля. Настоящая статья посвящена рассмотрению именно этого аспекта.

В качестве объекта исследования был выбран малоразмерный асинхронный двигатель 5АИ 71В2 У2 [4], мощностью 1,1 кВт с номинальной частотой вращения 2800 об/мин и этот выбор не случаен:

- асинхронный принцип работы электродвигателя был реализован в электромобилях компании ТЕСЛА [5], Audi [6] и Mercedes-Benz [7];
- имелся в наличии стенд (произведена его глубокая модернизация) и техническая возможность осуществить нагружение ЭД мощностью до 12 кВт и частотой вращения от 1000 до 8000 об./мин;
- отсутствовали проблемы с приобретением и поставкой объекта исследования, т.к. такие двигатели широко представлены в ассортименте на Российском рынке по диапазону мощности и частоте вращения.

Испытание асинхронного двигателя было проведено на стенде кафедры «Автомобили и технологические машины» ФГАО ВО ПНИПУ. Фотография испытуемого двигателя на нагрузочном стенде и частотный преобразователь, необходимый для управления частотой вращения электрического двигателя, представлены на рисунке 1. В качестве устройства для создания нагрузки использовался генератор постоянного тока.



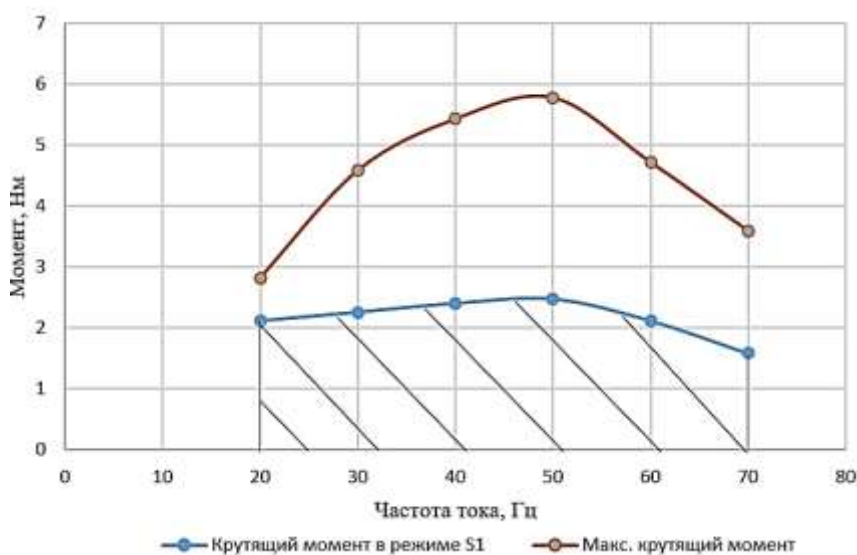


**Рисунок 1 - Стенд для проведения эксперимента:**  
 а - асинхронный двигатель мощностью 1,1 кВт на нагрузочном стенде;  
 б - частотный преобразователь ESQ 600-4T0022G

### Теория / Расчет

В рамках подготовки основного эксперимента была разработана методика испытания ЭД по скоростной характеристике и определены основные параметры, влияющие на изменение теплового состояния двигателя. В качестве основы для разработки методики испытания ЭД были использованы стандартизированные методы испытания двигателей внутреннего сгорания [8]. Описание данной методики, а также методики определения области, в которой ЭД может длительное время работать без перегрева с учетом особенностей работы, свойственной при эксплуатации электромобилей не являются предметом изучения в данной статье и будут опубликованы отдельно.

Результаты испытания асинхронного двигателя типа 5АИ 71В2 У2 по скоростной характеристике представлены на рисунке 2. Область, в которой данный двигатель может работать длительное время без перегрева, заштрихована. Эта область необходима для обоснования диапазонов изменения независимых переменных планирования эксперимента.



**Рисунок 2 - Зависимость крутящего момента асинхронного двигателя 5АИ 71В2 У2 от частоты тока в цепи статора**



Для проведения эксперимента были отобраны три независимых фактора, приводящие к нагреву ЭД. Такими факторами оказались:  $X_1$  – нагрузка, прикладываемая к двигателю,  $X_2$  – частота тока статора и  $X_3$  – продолжительность работы двигателя под нагрузкой. В качестве функции отклика была принята степень нагрева статора электродвигателя (разность показаний между температурами в конце и начале работы двигателя под нагрузкой). Диапазон изменения параметра  $X_1$  составлял 0,7-1,4 Нм, по  $X_2$  – от 20 до 70 Гц и по параметру  $X_3$  – от 15 до 30 минут.

Для измерения нагрузки использовалось весовое устройство с максимальным диапазоном измерения усилия 0,49-9,8 Н и погрешностью измерения  $\pm 5 \%$ . Изменение частоты вращения ЭД осуществлялось с помощью трехфазного частотного преобразователя. При этом, изменение питающего напряжения до 50 Гц происходило по скалярному закону  $U/\dot{f} = \text{const}$ , где  $U$  – питающее напряжение,  $\dot{f}$  – частота тока, а при более высокой частоте, питающее напряжение не превышало 380 В. Частота тока статора задавалась с помощью, собственно самого частотного преобразователя, с погрешностью измерения (по паспорту), равной  $\pm 0,5 \%$  [9]. Продолжительность работы ЭД под нагрузкой в ходе эксперимента фиксировалась секундомером с погрешностью, не превышающей  $\pm 0,5 \%$ . Температура статора электродвигателя определялась с помощью серийно выпускаемого прибора STC-1000 диапазоном измерения от -50 до 100 град. Цельсия и погрешностью измерения  $\pm 1 \%$  [10].

Для установления аналитической зависимости в виде регрессии,

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i X_i + \sum_{\substack{i,u=1 \\ i \neq u}}^3 b_{ui} X_i X_u + b_{123} X_1 X_2 X_3, \quad (1)$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коэффициенты регрессии;

$X_i * X_u$  – члены двойного взаимодействия

$X_1 * X_2 * X_3$  – члены тройного взаимодействия

был определен центр плана

$$x_1 \in [100; 200], x_1^0 = \frac{0,98+1,96}{2} = 1,47 \text{ Н};$$

$$x_2 \in [20; 70], x_2^0 = \frac{20+70}{2} = 45 \text{ Гц};$$

$$x_3 \in [15; 30], x_3^0 = \frac{15+30}{2} = 22,5 \text{ мин.}$$

и значения интервалов варьирования:

$$\Delta x_1 = 1,96 - 1,47 = 0,49;$$

$$\Delta x_2 = 70 - 45 = 25;$$

$$\Delta x_3 = 30 - 22,5 = 7,5.$$

Все независимые параметры были приведены к безразмерному виду по формуле:

$$X_1 = \frac{x_1 - x_1^0}{\Delta x_1}, X_1 \in [-1; +1];$$

$$X_2 = \frac{x_2 - x_2^0}{\Delta x_2}, X_2 \in [-1; +1];$$

$$X_3 = \frac{x_3 - x_3^0}{\Delta x_3}, X_3 \in [-1; +1].$$

Трехфакторный планируемый эксперимент был проведен, в соответствии с методикой, изложенной в работах [11-14]. Каждый замер в точке плана осуществлялся три раза. Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	T <sub>0</sub> , град	T <sub>к</sub> , град	ΔT, град	ΔT <sub>ср</sub> , град
1	+	-	-	-	+	+	+	-	20	33,7	13,7	13,33
									20	33,3	13,3	
									20	33	13	
2	+	+	-	-	-	-	+	+	20	36,7	16,7	16,97
									20,4	37,4	17	
									20	37,2	17,2	
3	+	-	+	-	-	+	-	+	21,5	38	16,5	17,20
									20	37,9	17,9	
									21,1	38,3	17,2	
4	+	+	+	-	+	-	-	-	22,5	48,4	25,9	25,47
									22,7	47,8	25,1	
									22	47,4	25,4	
5	+	-	-	+	+	-	-	+	21,7	37,9	16,2	16,00
									20,7	37,2	16,5	
									21,2	36,5	15,3	
6	+	+	-	+	-	+	-	-	22,2	47	24,8	24,30
									21,6	45,8	24,2	
									21,7	45,6	23,9	
7	+	-	+	+	-	-	+	-	20	39,1	19,1	18,80
									20,8	40	19,2	
									21,6	39,7	18,1	
8	+	+	+	+	+	+	+	+	22,5	52,4	29,9	29,83
									22,7	52,2	29,5	
									21,4	51,5	30,1	

На основании выражения

$$Y(X_1, X_2, X_3) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3$$

была сформирована следующая система линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}$  и  $b_{123}$ .

$$\begin{cases} b_0 1 - b_1 1 - b_2 1 + b_3 1 + b_{12} 1 + b_{13} 1 + b_{23} 1 - b_{123} 1 = Y_1 \\ b_0 1 + b_1 1 - b_2 1 - b_3 1 - b_{12} 1 - b_{13} 1 + b_{23} 1 + b_{123} 1 = Y_2 \\ b_0 1 - b_1 1 + b_2 1 - b_3 1 - b_{12} 1 + b_{13} 1 - b_{23} 1 + b_{123} 1 = Y_3 \\ b_0 1 + b_1 1 + b_2 1 - b_3 1 + b_{12} 1 - b_{13} 1 - b_{23} 1 - b_{123} 1 = Y_4 \\ b_0 1 - b_1 1 - b_2 1 + b_3 1 + b_{12} 1 - b_{13} 1 - b_{23} 1 + b_{123} 1 = Y_5 \\ b_0 1 + b_1 1 - b_2 1 + b_3 1 - b_{12} 1 + b_{13} 1 - b_{23} 1 - b_{123} 1 = Y_6 \\ b_0 1 - b_1 1 + b_2 1 + b_3 1 - b_{12} 1 - b_{13} 1 + b_{23} 1 - b_{123} 1 = Y_7 \\ b_0 1 + b_1 1 + b_2 1 + b_3 1 + b_{12} 1 + b_{13} 1 + b_{23} 1 + b_{123} 1 = Y_8 \end{cases}$$

После обработки результатов эксперимента были получены следующие коэффициенты регрессии:

$$b_0 = 20,24; b_1 = 3,91; b_2 = 2,59; b_3 = 2; b_{12} = 0,92; b_{13} = 0,93; b_{23} = -0,51; b_{123} = -0,24$$

С учетом полученных коэффициентов регрессии уравнение тепловой напряженности электродвигателя имеет следующий вид:

$$Y(X_1, X_2, X_3) = 20,24 + 3,91X_1 + 2,59X_2 + 2X_3 + 0,92X_1X_2 + 0,93X_1X_3 - 0,51X_2X_3 - 0,24X_1X_2X_3.$$

### **Результаты и обсуждение**

Анализ представленной зависимости позволил проранжировать независимые переменные. Наиболее значимым фактором оказался параметр  $X_1$  (нагрузка), фактором номер 2 –  $X_2$  (частота тока) и фактором номер 3 –  $X_3$  (продолжительность работы под нагрузкой). Этот вывод был сделан при сравнении коэффициентов модели, соответственно: 3,91, 2,59 и 2,00 стоящих перед факторами  $X_1$  –  $X_3$ .

Статистическая оценка значимости математической модели дала следующие результаты:

- при оценке однородности дисперсий (критерий Кохрена) оказалось, что дисперсии опытов однородны, а сами опыты воспроизводимы [15];
- при оценке статистической значимости коэффициентов модели (критерий Стьюдента), все коэффициенты регрессионной модели оказались значимы;
- при оценке адекватности модели в целом (критерий Фишера), оказалось, что модель и результаты, получаемые с ее использованием адекватны реально существующему процессу.

### **Выводы**

1. Экспериментально исследована степень нагрева асинхронного двигателя под нагрузкой. Параметрами, изменяющими свое значение в ходе эксперимента, являлись: нагрузка, частота тока статора и продолжительность работы электродвигателя под нагрузкой.

2. В результате проведения планируемого трехфакторного эксперимента была получена аналитическая зависимость. Оценка статистической значимости полученной модели показала ее полную адекватность реально существующему процессу.

3. Последующий анализ математической модели позволил проранжировать независимые параметры и оценить их влияние на нагрев электродвигателя. Наиболее значимым из них оказалась нагрузка, прикладываемая к двигателю. Полученные закономерности планируется использовать при разработке алгоритмов управления асинхронным двигателем с целью недопущения его перегрева.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Boglietti A., Cavagnino A., Staton D. Determination of Critical Parameters in Electrical Machine Thermal Models // IEEE Transactions on Industry Applications. 2008. Vol. 44. №4. P. 1150-1159.
2. Nerg J., Rilla M., Pyrhönen J. Thermal Analysis of Radial-Flux Electrical Machines with a High-Power Density // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2008. Vol. 55. №10. P. 3543-3554.
3. Mellor P.H., Roberts D., Turner D.R. Lumped Parameter Thermal Model for Electrical Machines of TEFC Design // IEE Proceedings B (Electric Power Applications). 1991. Vol. 138. №5. P. 205-218.
4. Технические характеристики на промышленные асинхронные электродвигатели 5 АИ, А ИР [Электронный ресурс] / URL: <https://elkom.nt-rt.ru/images/manuals/1-1.pdf>.
5. Автомобиль Тесла, принцип работы [Электронный ресурс] / URL: <https://ruselectronic.com.turbopages.org/turbo/ruselectronic.com/s/tesla-car/>.
6. Обзор Audi e-tron 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://get-audi.ru/models/electrokar/audi-e-tron-2020/?ysclid=m592te9vlj177384015>.
7. Обзор электромобиля Mercedes-Benz EQC [Электронный ресурс]. URL: <https://electromobili.ru/novosti/obzor-elektromobilya-mercedes-benz-eqc>.
8. ГОСТ 14846-2020. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М.: Стандартинформ, 2020. 96 с.
9. STC-1000 [Электронный ресурс]. URL: <https://market.yandex.ru/product--stc-1000-kontroller-universalnyi-elektronnyi-rele-nagreva-okhlazhdeniia-50-100c-110-220-v/1923733462>.

10. ESQ 600-4T0022G [Электронный ресурс]. URL: [https://www.elcomspb.ru/retail/invertors/frequency\\_converters/esq-600-4t0022g0037p/?ysclid=70p1yq5rx183709638](https://www.elcomspb.ru/retail/invertors/frequency_converters/esq-600-4t0022g0037p/?ysclid=70p1yq5rx183709638).
11. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Учебное пособие / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, Л.А. Зайнуллин, А.Р. Бондин, А.А. Бурыкин; Под общ. ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: ООО «УИНЦ», 2015. 290 с.
12. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: Учебное пособие. М: Юрайт, 2015. 496 с.
13. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1988. 239 с.
14. Бояршинов М.Г. Методология теоретических и экспериментальных исследований транспортных и технологических машин. М.: Русайнс, 2022. 309 с.
15. Новицкий П.В., Зograф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 354 с.

**Лобов Николай Владимирович**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29  
Д.т.н., зав. кафедрой автомобилей и технологические машины  
E-mail: lobov@pstu.ru

**Решетников Никита Алексеевич**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29  
Студент  
E-mail: sam281213note04@gmail.com

**Попов Александр Игоревич**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29  
Студент  
E-mail: cfif.gjgjd.2004@yandex.ru

**Вахрушев Матвей Александрович**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29  
Студент  
E-mail: vaxrushev.m@list.ru

---

N.V. LOBOV, N.A.RESHETNIKOV, A.I. POPOV, M.A.VAKHRUSHEV

## THE RESULTS OF AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE THERMAL TENSION OF AN ELECTRIC MOTOR OF AN ELECTRIC VEHICLE

**Abstract.** *The results of testing a small-sized asynchronous motor under load, which takes into account the specifics of the operation of an electric vehicle, are presented. The degree of heating of the stator of the electric motor was assessed by changing three independent factors: load, frequency of the stator current and duration of operation. A regression mathematical model of the process and a statistical assessment of its significance (adequacy) are presented.*

**Keywords:** *asynchronous motor, electric vehicle, thermal stress, planned experiment*

### BIBLIOGRAPHY

1. Boglietti A., Cavagnino A., Staton D. Determination of Critical Parameters in Electrical Machine Thermal Models // IEEE Transactions on Industry Applications. 2008. Vol. 44. №4. P. 1150-1159.
2. Nerg J., Rilla M., Pyrhnen J. Thermal Analysis of Radial-Flux Electrical Machines with a High-Power Density // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2008. Vol. 55. №10. P. 3543-3554.
3. Mellor P.H., Roberts D., Turner D.R. Lumped Parameter Thermal Model for Electrical Machines of TEFC Design // IEE Proceedings B (Electric Power Applications). 1991. Vol. 138. №5. P. 205-218.

4. Tekhnicheskie kharakteristiki na promyshlennyye asinkhronnyye elektrodvigateli 5 AI, A IR [Elektronnyy resurs] / URL: <https://elkom.nt-rt.ru/images/manuals/1-1.pdf>.
5. Avtomobil` Tesla, printsip raboty [Elektronnyy resurs] / URL: <https://ruselectronic-com.turbopages.org/turbo/ruselectronic.com/s/tesla-car/>.
6. Obzor Audi e-tron 2020 [Elektronnyy resurs]. URL: <https://get-audi.ru/models/electrokar/audi-e-tron-2020/?ysclid=m592te9v1j177384015>.
7. Obzor elektromobilya Mercedes-Benz EQC [Elektronnyy resurs]. URL: <https://electromobili.ru/novosti/obzor-elektromobilya-mercedes-benz-eqc>.
8. GOST 14846-2020. Dvigateli avtomobil`nye. Metody stendovykh ispytaniy. M.: Standartinform, 2020. 96 s.
9. STC-1000 [Elektronnyy resurs]. URL: <https://market.yandex.ru/product-stc-1000-kontroller-universalnyi-elektronnyi-rele-nagreva-okhlazhdeniia-50-100c-110-220-v/1923733462>.
10. ESQ 600-4T0022G [Elektronnyy resurs]. URL: [https://www.elcomspb.ru/retail/invertors/frequency\\_converters/esq-600-4t0022g0037p/?ysclid=70p1yq5rx183709638](https://www.elcomspb.ru/retail/invertors/frequency_converters/esq-600-4t0022g0037p/?ysclid=70p1yq5rx183709638).
11. Metody planirovaniya i obrabotki rezul'tatov inzhenernogo eksperimenta: Uchebnoe posobie / N.A. Spirin, V.V. Lavrov, L.A. Zaynullin, A.R. Bondin, A.A. Burykin; Pod obshch. red. N.A. Spirina. Ekaterinburg: OOO "UINTS", 2015. 290 s.
12. Sidnyaev N.I. Teoriya planirovaniya eksperimenta i analiz statisticheskikh dannykh: Uchebnoe posobie. M: YUrayt, 2015. 496 s.
13. L'vovskiy E.N. Statisticheskie metody postroeniya empiricheskikh formul: Uchebnoe posobie dlya vuzov. M.: Vysshaya shkola, 1988. 239 s.
14. Boyarshinov M.G. Metodologiya teoreticheskikh i eksperimental'nykh issledovaniy transportnykh i tekhnologicheskikh mashin. M.: Rusayns, 2022. 309 s.
15. Novitskiy P.V., Zograf I.A. Otsenka pogreshnostey rezul'tatov izmereniy. L.: Energoatomizdat, 1991. 354 s.

**Lobov Nikolai Vladimirovich**

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky Prospekt, 29  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: lobov@pstu.ru

**Reshetnikov Nikita Alekseevich**

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky Prospekt, 29  
Student  
E-mail: sam281213note04@gmail.com

**Popov Alexander Igorevich**

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky Prospekt, 29  
Student  
E-mail: cfif.gjgid.2004@yandex.ru

**Vakhrushev Matvey Alexandrovich**

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky Prospekt, 29  
Student  
E-mail: vaxrushev.m@list.ru

В.И. КАРАГОДИН, В.Л. КУБЫШЕВ

## ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ТРАНСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУПНОГАБАРИТНЫХ И ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ

**Аннотация.** Для перевозок крупногабаритных и тяжеловесных грузов (КТГ) используются автопоезда с модульными прицепами и полуприцепами. В отличие от морского и железнодорожного транспорта, где проведены глубокие исследования и научные обоснования, позволившие разработать технические решения и регламенты для эффективных и безопасных перевозок КТГ, на автомобильном транспорте такие работы до сих пор не проводились. Требования к эксплуатационным свойствам автопоездов устанавливаются самими эксплуатирующими предприятиями на основе производственного опыта. Задача обоснования комплекса эксплуатационных свойств и типоразмерного ряда подвижного состава автомобильного транспорта должна решаться на основе накопленного опыта выполненных перевозок КТГ с использованием современных методов исследований. В статье отражен экспериментальный материал по 233 единицам КТГ и проведен кластерный анализ, позволивший сформировать комплексы транспортных характеристик КТГ с целью определения влияния массогабаритных и других характеристик грузов на эксплуатационные свойства автопоездов, обоснования типоразмерного ряда модульных прицепов и полуприцепов.

**Ключевые слова:** крупногабаритные и тяжеловесные грузы, автопоезда, модульные прицепы, эксплуатационные свойства, транспортная характеристика грузов, алгоритмы кластеризации, таксономия

### Введение

С развитием строительства крупных промышленных объектов увеличиваются объемы перевозок крупногабаритных и тяжеловесных грузов (КТГ) автомобильным транспортом. Для таких дорогостоящих и ответственных перевозок используются автопоезда с модульными прицепами и полуприцепами. Типоразмерный ряд и комплекс эксплуатационных свойств таких прицепов установлены на основе производственного опыта. В отличие от морского и железнодорожного транспорта, где проведены глубокие исследования и научные обоснования, позволившие разработать технические решения и регламенты для эффективных и безопасных перевозок КТГ, на автомобильном транспорте такие работы до сих пор не проводились. В основе подобных исследований должна лежать классификация грузов, имеющая для КТГ большие особенности.

В грузоведении [1-3] при классификации транспортных характеристик отдельных категорий грузов широко используются методы комбинационной группировки, которые предполагают последовательное логическое деление совокупности по отдельным признакам: сначала по одному, затем каждую из полученных групп по другому признаку и т.д. Ввиду большой номенклатуры факторов, определяющих транспортные характеристики КТГ, и значительной вариации их значений разделение КТГ на комплексы, характеризующиеся небольшим набором совпадающих признаков, практически невозможно.

### Материал и методы

Для решения подобных задач в теории распознавания образов разработаны принципы многомерной классификации, сущность которых заключается в классификации объектов не последовательно по отдельным признакам, а одновременно по большому числу признаков. Этот фиксированный набор признаков образует так называемое «признаковое пространство»; каждому признаку придается смысл координаты. При наличии  $n$  признаков любой объект рассматривается как точка в  $n$ -мерном признаковом пространстве. Задача классификации сводится к выявлению сгущений точек в  $n$ -мерном пространстве, которые рассматри-

ваются в качестве классов (таксонов). Алгоритмы, реализующие подобные вычислительные процедуры, получили название алгоритмов многомерной таксономии [4].

Из них наиболее передовым, по оценке зарубежных специалистов [5], является разработанный в 1996 году алгоритм DBSCAN, вычислительная сложность которого в ряде случаев может являться логарифмической функцией  $O(n \times \log(n))$ , что не достижимо для иных алгоритмов кластеризации, имеющих, как правило, сложность  $O(n^2)$ , а то и вовсе экспоненциальную. Авторы алгоритма [6] показали его убедительное превосходство по скорости и точности вычислений над распространенным в то время алгоритмом CLARANS.

Коллектив ученых СО РАН создал алгоритм FOREL в 1967 году для целей многомерной таксономии и на сегодняшний день накопил колоссальный опыт в области анализа данных, разработки алгоритмов [7], реализовал программное обеспечение, нашедшее применение в сотнях отраслевых информационно-вычислительных центров [8] по всему бывшему СССР.

Использование многомерной таксономии позволило в масштабах страны определить потребности в типовых видах ремонтов ДВС автомобилей ЗиЛ и КамАЗ, объединить разрозненные технологические карты различных авторемонтных предприятий в технически и экономически обоснованные маршруты ремонтов, и в последующем заложить основы для реализации единой индустриальной системы поддержания работоспособности автомобилей [9].

На сегодняшний день алгоритмы DBSCAN и FOREL достаточно подробно задокументированы на алгоритмическом языке (псевдокоде) в [5,6,10] и [7,11,12] соответственно. Это позволяет реализовывать их в удобных исследователям средах как, например, высокопроизводительный C++ [13] или на внутреннем интерпретаторе команд системы Матлаб [11].

Для целей настоящей работы была написана программа для ЭВМ, в которой перечисленные выше алгоритмы были реализованы на современном языке программирования C# (Си-шарп), а также создана удобная для пользователя графическая оболочка. Особое внимание было уделено простоте ввода и распознаванию статистических данных. Их можно просто скопировать в соответствующее окно, а далее программа самостоятельно определит объемы и тип информации, подлежащей обработке, задаст ранг (размерность) матрицы данных, сформирует и заполнит ее, отбросив лишний текст или невидимые символы.

### **Теория / Расчет**

В априорный перечень факторов, влияющих на процесс перевозок КТГ, были включены следующие признаки:  $X_1$  – масса груза, т;  $X_2$  – длина, мм;  $X_3$  – ширина, мм;  $X_4$  – высота, мм;  $X_5$  – продольное смещение центра тяжести, мм;  $X_6$  – поперечное смещение центра тяжести, мм;  $X_7$  – высота центра тяжести от опорной поверхности груза, мм;  $X_8$  – количество поперечных опор;  $X_9$  – расстояние от центра тяжести до ближайшей опоры, мм;  $X_{10}$  – шаг опор (минимальное расстояние между опорами), мм;  $X_{11}$  – форма груза (цилиндрическая или прямоугольная);  $X_{12}$  – наличие обозначения (маркировки) мест строповки;  $X_{13}$  – наличие обозначения (маркировки) мест крепления;  $X_{14}$  – наличие собственных опор или рамы у груза;  $X_{15}$  – наличие транспортных (временных) опор цилиндрических грузов;  $X_{16}$  – надежность крепления груза в транспортной упаковке (к временным опорам, внутри ящика, кассет);  $X_{17}$  – материал опор;  $X_{18}$  – наличие ящичной упаковки.

Факторы  $X_1 \dots X_4$  являются количественными (могут принимать любое значение в исследуемом диапазоне) и определяют конфигурацию и основные эксплуатационные свойства прицепа. Остальные факторы определяют способы строповки, установки на прицеп и крепления груза, причем факторы  $X_5 \dots X_{10}$  являются количественными, а факторы  $X_{11} \dots X_{18}$  – качественными (могут относиться к одной из двух групп и характеризуются либо логическими операторами по принципу «да» – «нет», либо при математической записи – булевыми переменными 0 или 1).

В статистику факторов вошли данные о 233 грузах, доставленных морским, а после выгрузки – автомобильным транспортом на ряд строящихся промышленных предприятий. В

первую очередь была исследована корреляционная связь между факторами [14]. Коэффициенты парной корреляции между исследуемыми количественными факторами приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Коэффициенты парной корреляции между количественными факторами

Факторы	Факторы									
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
$X_1$	1									
$X_2$	0,767	1								
$X_3$	0,685	0,519	1							
$X_4$	0,659	0,468	0,726	1						
$X_5$	0,152	0,313	0,146	0,135	1					
$X_6$	0,104	0,214	0,170	0,016	0,176	1				
$X_7$	0,666	0,448	0,664	0,953	0,120	-0,009	1			
$X_8$	0,012	0,226	0,117	-0,199	0,120	0,063	-0,256	1		
$X_9$	0,375	0,517	0,282	0,390	0,151	0,301	0,377	-0,417	1	
$X_{10}$	0,309	0,500	0,305	0,434	0,157	0,309	0,438	-0,470	0,915	1

Строго говоря, коэффициенты корреляции должны быть проверены на статистическую значимость, но обычно считают согласно шкале Чеддока, что связь между показателями достаточно тесная, если коэффициент корреляции больше 0,7. Наибольших значений (см. таблицу 1) достигает связь между фактором  $X_7$  – высота центра тяжести от опорной поверхности груза и фактором  $X_4$  – высота груза, а также между фактором  $X_9$  – расстояние от центра тяжести до ближайшей опоры и фактором  $X_{10}$  – шаг опор. Это позволяет выбрать из первой пары тесно коррелированных факторов один в качестве представителя пары факторов. Таким фактором является  $X_4$  – высота груза, так как он наиболее просто, достоверно и точно определяется, а также обязательно указывается во всех документах и учитывается при разработке технологии перевозки. Тесная связь между второй парой факторов позволяет установить нормативы шага опор и расстояния от центра тяжести до ближайшей опоры.

Для решения вопроса о влиянии на изучаемый признак качественного фактора необходимо разделить экспериментальную выборку на две выборки соответственно градациям этого качественного фактора и проверить гипотезу о принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности [14]. На рисунке 1 показана зависимость массы груза от его формы.

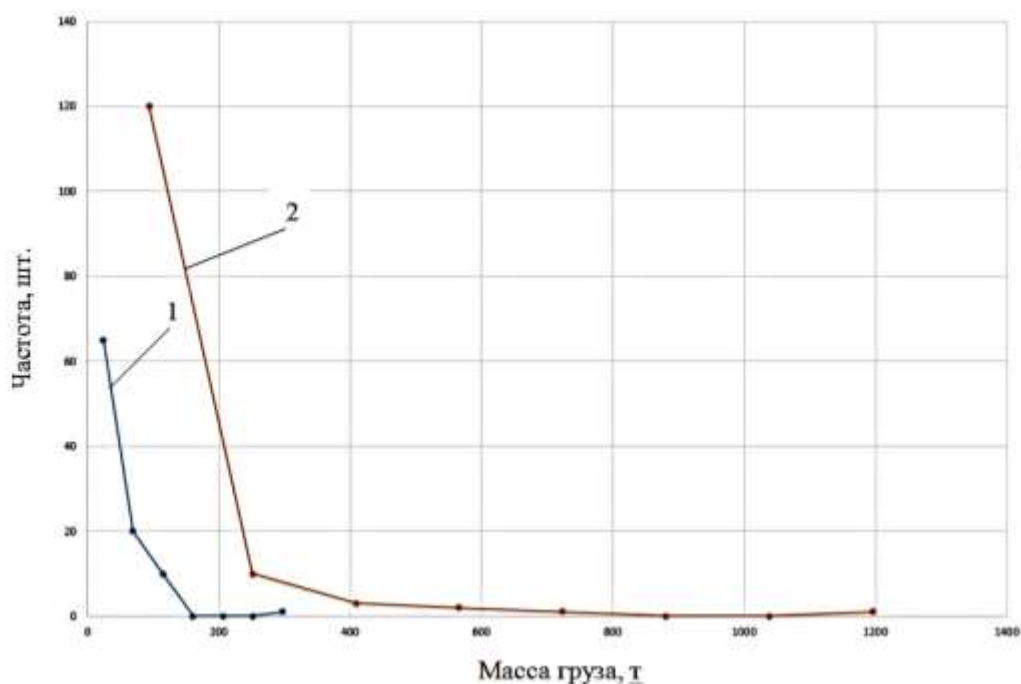


Рисунок 1 – Полигон распределения величины  $X_1$  – массы груза:  
1 – грузы с прямоугольным сечением; 2 – грузы с цилиндрическим сечением



При проверке гипотезы о принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности установлено, что гипотеза отвергается. Это отражает существенное влияние формы груза на его массу, что подтверждается рисунком 1. Из него видно, что массы грузов с цилиндрическим сечением в целом существенно превосходят массы грузов с прямоугольным сечением. Иная картина наблюдается при исследовании зависимости высоты груза от его формы (рис. 2). Оценка случайности расхождения выборочных средних с помощью критерия Стьюдента и случайности расхождения выборочных дисперсий с помощью критерия Фишера [14] дала положительные результаты: гипотеза о принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности не отвергается. Это значит, что высота груза практически не зависит от его формы и может рассматриваться в виде единого массива. Эта транспортная характеристика является общей для всех грузов.

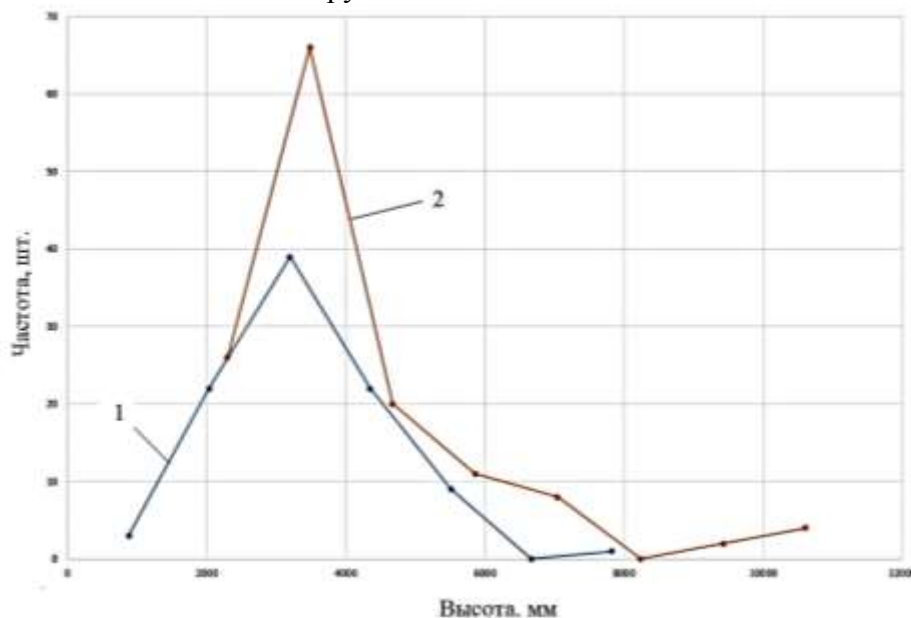


Рисунок 2 – Полигон распределения величины  $X_4$  – высоты груза:  
1 – грузы с прямоугольным сечением; 2 – грузы с цилиндрическим сечением

Количественные значения факторов  $X_1 \dots X_4$ , определяющих конфигурацию и основные эксплуатационные свойства прицепа, объединялись в комплексы с помощью алгоритмов многомерной таксономии. В работе [9] показана зависимость процесса и результатов формирования комплексов от радиуса гиперсферы. Однако в этой работе рассматривались объекты, имеющие только одну количественную характеристику – трудоемкость – и одну единицу измерения – человеко-час. Рассматриваемые нами факторы имеют разную природу и разные измерители: весовые и размерные единицы. Это потребовало выполнения преобразования и представления данных о свойствах анализируемых грузов в виде безразмерных относительных величин. Нормирование транспортных характеристик грузов выполнялось по формуле [15]:

$$s_{ij} = \frac{g_{ij} - \min g_{ij}}{\max g_{ij} - \min g_{ij}},$$

где  $s_{ij}$  – приведенное значение  $i$ -го свойства  $j$ -го груза;

$g_{ij}$  – количественное значение  $i$ -го свойства  $j$ -го груза;

$\min g_{ij}$  – минимальное значение  $i$ -го свойства  $j$ -го груза;

$\max g_{ij}$  – максимальное значение  $i$ -го свойства  $j$ -го груза.

Полученные таким образом нормированные значения сопоставляемых свойств грузов выражают в безразмерной форме долю или относительный уровень  $i$ -го свойства по отношению к наибольшему значению этого свойства соответствующего груза  $j$ .

На первом этапе были проанализированы качественные факторы при помощи двухпа-

раметрического алгоритма DBSCAN. В результате были получены 34 таксона (табл. 2). Из данных таблицы 2 видно, что наибольшее количество грузов (50 шт.) попали в 10-й таксон. В таксоне 0 содержатся 18 грузов, в таксоне 1 – 17 шт. и т.д. Радиус гиперсферы был задан равным 1, и минимальное количество соседних точек также было задано равным 1. При таких параметрах алгоритм весьма эффективно справился с поставленной задачей, реализовав строго упорядоченную иерархию. В таблице 3 приведены значения качественных факторов для таксонов 10, 0, 1 и 2, суммарно составляющих 43,8 % всех КТГ. Данные закодированы: 1 – да; 0 – нет.

Таблица 2 - Распределение грузов по качественными факторам

Номера таксонов	Количество грузов в таксоне	Доля грузов в таксоне, %	Номера таксонов	Количество грузов в таксоне	Доля грузов в таксоне, %
0	18	7,73	17	2	0,86
1	17	7,30	18	2	0,86
2	17	7,30	19	5	2,15
3	10	4,29	20	17	7,30
4	10	4,29	21	4	1,72
5	5	2,15	22	2	0,86
6	3	1,29	23	4	1,72
7	3	1,29	24	7	3,00
8	4	1,72	25	1	0,43
9	3	1,29	26	1	0,43
10	50	21,46	27	1	0,43
11	2	0,86	28	1	0,43
12	15	6,44	29	1	0,43
13	4	1,72	30	1	0,43
14	3	1,29	31	1	0,43
15	13	5,58	32	1	0,43
16	4	1,72	33	1	0,43
<b>Всего</b>				<b>233</b>	<b>100,00</b>

Таблица 3 - Значения качественных факторов

Номер таксона	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>
10	1	1	1	0	1	1	1	0
0	0	1	0	0	1	0	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1

### Результаты

Для интерпретации данных таблицы 3 было проанализировано содержание каждого таксона и характера представленных в нем грузов. Таксон номер 10 – это классическая аккуратно выполненная колонна, имеющая цилиндрическое поперечное сечение, обозначенные места строповки и крепления. А вот таксон номер 2 – это небрежно сколоченный ящик, у которого не только отсутствуют места крепления, но также нет данных по содержимому и способам крепления груза внутри ящичной упаковки. С точки зрения безопасности перевозки такие ящики допускается перевозить морским транспортом, но категорически запрещена перевозка железнодорожным транспортом. Перед отправкой таких ящиков по железной дороге каждый раз выполнялось вскрытие упаковки и внешний осмотр, а при необходимости и пересчет прочности крепления груза внутри упаковки. В случае недостаточной прочности крепления выполнялось усиление конструкции по согласованию с заводом-изготовителем и поставщиком оборудования.

Аккуратные ящики были отнесены алгоритмом в таксоны 12 и 13 в зависимости от конструкции и наличия усиления. Данные для других таксонов выходят за рамки настоящей статьи и здесь не рассматриваются.

На втором этапе КТГ, отнесенные лишь к одному таксону (рассмотрен наиболее представительный 10-й таксон), были обработаны при помощи алгоритма FOREL. На этом этапе рассматривались количественные факторы, прошедшие нормализацию. Таксономия прове-

дена при разных радиусах гиперсферы (табл. 4), номера таксонов для различных алгоритмов и гиперсфер переназначаются программой каждый раз заново при пересчете и зачастую не совпадают ввиду удаления рассмотренных таксонов на предыдущем этапе.

Таблица 4 - Распределение грузов по таксонам при разных радиусах гиперсферы

Номер таксона	Радиус гиперсферы					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8
0	1	2	30	34	40	43
1	3	21	1	1	3	4
2	1	1	2	2	2	1
3	1	1	2	1	2	1
4	5	2	1	3	1	1
5	1	4	1	1	1	
6	1	1	1	1	1	
7	1	1	1	1		
8	1	1	1	1		
9	1	1	1	5		
10	1	1	1			
11	1	1	1			
12	1	1	1			
13	1	1	5			
14	1	1	1			
15	1	1				
16	1	1				
17	1	1				
18	1	1				
19	1	1				
20	1	2				
21	1	1				
22	1	1				
23	1	1				
24	2					
25	1					
26	1					
27	1					
28	1					
29	1					
30	10					
31	1					
32	1					
33	1					
Всего	50	50	50	50	50	50

Из таблицы 4 видно, что при радиусе гиперсферы 0,8 получено 5 таксонов. Анализ массогабаритных характеристик грузов, попавших в эти таксоны (табл. 5), показал, что унифицированный подвижной состав автомобильного транспорта может быть использован для 4-х грузов из 1-го таксона. В таблице 5 показаны лишь наиболее представительные факторы,

имеющие коэффициенты корреляции свыше 0,7 (табл. 1). Но использование подвижного состава такой же конфигурации для грузов из таксонов 2 и 3 уже не рационально, несмотря на сопоставимые массы. В первую очередь это продиктовано сильно отличающейся высоты и разной опасностью опрокидывания.

Таблица 5 - Примеры количественных характеристик грузов в таксонах при радиусе гиперсферы 0,8

Таксон	Количество КТГ	Масса, т	Высота, мм	Расстояние от центра тяжести до ближайшей опоры, мм
1	4	268,3...768,7	8629...10185	2308...8043
2	1	232,9	5460	14475
3	1	393,4	6050	16590
4	1	1274,9	10300	8500

### Обсуждение

В таблицу 5 не включены 43 груза из таксона 0, поскольку при радиусе гиперсферы 0,8 они не были достаточно однородными. Эти грузы были рассмотрены при меньшем радиусе гиперсферы, равном 0,6. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Примеры количественных характеристик грузов в таксонах при радиусе гиперсферы 0,6

Таксон	Количество КТГ	Масса, т	Высота, мм	Расстояние от центра тяжести до ближайшей опоры, мм
2	2	94,9...211,4	3980...5072	3955...6469
3	1	211,4	9200	2802

Для двух грузов 2-го таксона можно применить одну и ту же конфигурацию автопоезда. Но для перевозки КТГ из 3-го таксона потребуется совершенно другая конфигурация. А оставшиеся 40 грузов из таксона 0 подлежат рассмотрению при меньшем радиусе гиперсферы из-за их неоднородности.

Последовательно уменьшая радиус гиперсферы до 0,1, получим при радиусе 0,2 наиболее представительный 1-й таксон, содержащий 21 груз (табл. 4). В таблице 7 представлены характеристики этих грузов, анализ которых убеждает в возможности использования для их перевозок одной и той же конфигурации автопоезда.

Таблица 7 - Примеры количественных характеристик в таксоне при радиусе гиперсферы 0,2

Таксон	Количество КТГ	Масса, т	Высота, мм	Расстояние от центра тяжести до ближайшей опоры, мм
1	21	24,2...73,0	2504...4700	1937...4017

Общее количество конфигураций автопоездов, необходимых для перевозки 50 грузов, представленных в таблице 4, составило 24 варианта. Аналогичные расчеты проводятся для КТГ, изначально попавших в другие таксоны.

### Выводы

1. Формирование комплексов транспортных характеристик КТГ проведено на основе экспериментального материала по перевозкам 233 грузов с использованием методов многомерной таксономии. Из четырех востребованных на практике алгоритмов кластеризации были выбраны наиболее подходящие и подробно задокументированные алгоритмы DBSCAN и FOREL.

2. Известные алгоритмы кластеризации были модернизированы для решения поставленной задачи и разработана программа расчетов, предусматривающая формирование классов (таксонов) КТГ при разных радиусах гиперсферы, что позволяет получать совокупности классов, различающиеся их количеством и степенью однородности транспортных характеристик КТГ в одном классе.

3. Сформирован перечень количественных и качественных факторов, отражающих транспортные характеристики КТГ и влияющих на эксплуатационные свойства автопоездов для их перевозки. Выявлены характерные сочетания качественных факторов и классы (таксоны) грузов, для перевозки которых могут быть использованы модульные прицепы и полуприцепы одинаковой конфигурации.

4. Результаты выполненных исследований являются теоретической и практической основой для обоснования эксплуатационных свойств автопоездов, типоразмерного ряда модульных прицепов и полуприцепов, технических решений и регламентов для эффективных и безопасных перевозок КТГ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олещенко Е.М., Горев А.Э. Основы грузоведения: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 288 с.
2. Малышенко Н.А. Грузоведение. Транспортные характеристики отдельных категорий грузов: Учебное пособие. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. 206 с.
3. Власова Н.В. Грузоведение: Учебное пособие к изучению курса. Иркутск: ИргУПС, 2017. 156 с.
4. Карагодин В.И. Методы прогнозирования развития предприятий сервиса строительных и дорожных машин: Учебное пособие. М.: МАДИ, 2021. 128 с.
5. Saif Rehman, Simon Fong. DBSCAN: Past, present and future. The Fifth International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies (ICADIWT 2014). 7 с.
6. Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jiirg Sander, Xiaowei Xu. A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise. Мюнхен: Institute for Computer Science, University of Munich, 1996. 6 с.
7. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Институт математики, 1999. 270 с.
8. Пакет прикладных программ ОТЭК / Н.Г. Загоруйко, В.Н. Ёлкина, С.В. Емельянов, Г.С. Лбов. М.: Финансы и статистика, 1986. 160 с.
9. Карагодин В.И. Организация и технология централизованного ремонта автомобильных двигателей по техническому состоянию: Монография. Москва: РУСАЙНС, 2021. 108 с.
10. Jakirul Islam. Develop a dynamic DBSCAN algorithm for solving initial parameter selection problem of the DBSCAN algorithm // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2021.
11. Лепский А.Е., Броневич А.Г. Математические методы распознавания образов. Таганрог: Южный федеральный университет, 2009.
12. Воронцов К.В. Лекции по алгоритмам кластеризации и многомерного шкалирования. М.: ВЦ РАН, 2007. 18 с.
13. Колбина Л.М., Непейвода С.Н., Непейвода А.Н., Масленников И.В. Использование метода таксономии FOREL при анализе помесных пчелиных семей Удмуртской Республики. Ижевск: ГНУ Удмуртский НИИСХ Россельхозакадемии. 2006. 4 с.
14. Карагодин В.И. Математическое моделирование процессов и систем технического сервиса на транспорте. Прикладные задачи: Учебник. Москва: КНОРУС, 2024. 374 с.
15. Шапошников В.А. Квалиметрия: Учебное пособие [Электронный ресурс]. Екатеринбург: Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2016. 134 с. URL: <http://elar.rsvpu.ru/handle/123456789/20925>.

### **Карагодин Виктор Иванович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)  
Адрес: 115184, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64  
Д.т.н., профессор, профессор  
E-mail: bik250248@yandex.ru

### **Кубышев Владимир Леонидович**

ПАО «Дальневосточное морское пароходство»  
Адрес: 115184, Россия, Москва, ул Новокузнецкая, д. 7/11, стр. 1  
Заместитель главного инженера  
E-mail: Kubyshev@bk.ru

V.I. KARAGODIN, V.L. KUBYSHEV

## FORMATION OF COMPLEXES OF TRANSPORT CHARACTERISTICS OF LARGE-SIZED AND HEAVY LOADS

**Abstract.** Road trains with modular trailers and semi-trailers are used for transportation of bulky and heavy loads. Unlike marine and rail transport, where in-depth research and scientific substantiation have been carried out, which allowed the development of technical solutions and regulations for efficient and safe transportation of KTG, such work has not yet been carried out on road transport. The requirements for the operational properties of road trains are set by the operating enterprises themselves based on production experience. The task of substantiating the complex of operational properties and the standard range of rolling stock of motor transport should be solved on the basis of the accumulated experience of KTG transportation using modern research methods. The article reflects experimental material on 233 CTG units and conducted a cluster analysis, which made it possible to form complexes of CTG transport characteristics in order to determine the influence of weight and other characteristics of goods on the operational properties of road trains, substantiate a standard-sized range of modular trailers and semi-trailers.

**Keywords:** bulky and heavy loads, road trains, modular trailers, operational properties, transport characteristics of goods, clustering algorithms, taxonomy

## BIBLIOGRAPHY

1. Oleshchenko E.M., Gorev A.E. Osnovy gruzovedeniya: Uchebnoe posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy. M.: Izdatel'skiy tsentr "Akademiya", 2005. 288 s.
2. Malyshenko N.A. Gruzovedenie. Transportnye kharakteristiki otdel'nykh kategoriy gruzov: Uchebnoe posobie. Vladivostok: Dal'rybvtuz, 2011. 206 s.
3. Vlasova N.V. Gruzovedenie: Uchebnoe posobie k izucheniyu kursa. Irkutsk: IrGUPS, 2017. 156 s.
4. Karagodin V.I. Metody prognozirovaniya razvitiya predpriyatiy servisa stroitel'nykh i dorozhnykh mashin: Uchebnoe posobie. M.: MADI, 2021. 128 s.
5. Saif Rehman, Simon Fong. DBSCAN: Past, present and future. The Fifth International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies (ICADIWT 2014). 7 s.
6. Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jiirg Sander, Xiaowei Xu. A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise. Myunkhen: Institute for Computer Science, University of Munich, 1996. 6 s.
7. Zagoruyko N.G. Prikladnye metody analiza dannykh i znaniy. Novosibirsk: Institut matematiki, 1999. 270 s.
8. Paket prikladnykh programm OTEKS / N.G. Zagoruyko, V.N. Iolkina, S.V. Emel'yanov, G.S. Lbov. M.: Finansy i statistika, 1986. 160 s.
9. Karagodin V.I. Organizatsiya i tekhnologiya tsentralizovannogo remonta avtomobil'nykh dvigateley po tekhnicheskomu sostoyaniyu: Monografiya. Moskva: RUSAYNS, 2021. 108 s.
10. Jakirul Islam. Develop a dynamic DBSCAN algorithm for solving initial parameter selection problem of the DBSCAN algorithm // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2021.
11. Lepskiy A.E., Bronevich A.G. Matematicheskie metody raspoznavaniya obrazov. Taganrog: YUzhnyy federal'nyy universitet, 2009.
12. Vorontsov K.V. Lektsii po algoritmam klasterizatsii i mnogomernogo shkalirovaniya. M.: VTS RAN, 2007. 18 s.
13. Kolbina L.M., Nepeyvoda S.N., Nepeyvoda A.N., Maslennikov I.V. Ispol'zovanie metoda takso-nomii FOREL pri analize pomesnykh pchelinykh semey Udmurtskoy Respubliki. Izhevsk: GNU Udmurtskiy NIISH Ros-sel'khozakademii. 2006. 4 s.
14. Karagodin V.I. Matematicheskoe modelirovanie protsessov i sistem tekhnicheskogo servisa na transporte. Prikladnye zadachi: Uchebnik. Moskva: KNORUS, 2024. 374 s.
15. Shaposhnikov V.A. Kvalimetriya: Uchebnoe posobie [Elektronnyy resurs]. Ekaterinburg: Ros. gos. prof.-ped. un-t, 2016. 134 s. URL: <http://elar.rsvpu.ru/handle/123456789/20925>.

### Karagodin Viktor Ivanovich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University  
Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: bik250248@yandex.ru

### Kubyshev Vladimir Leonidovich

Deputy chief engineer  
JSC «Far-Eastern Shipping Company»  
Adress: 115184, Russia, Moscow, Novokuznetskaya str., 1  
E-mail: Kubyshev@bk.ru

УДК 656.132

doi:10.33979/2073-7432-2025-3-3(90)-118-125

А.Д. ЕФИМОВ, А.О. АЛИБАГАНДОВ, Ю.И. САВЧЕНКО

## **АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В АВТОМОБИЛЬНОЙ МАРШРУТНОЙ НАВИГАЦИИ**

***Аннотация.** Выполнен анализ существующих подходов и выявлены перспективы развития интеллектуальных навигационных систем для автомобильного транспорта. Предложены принципы построения интеллектуальных навигационных систем, основанных на многокритериальном подходе, учете данных о водителях, транспортных средствах, состоянии дорожных условий и анализе аварийности.*

***Ключевые слова:** оптимальный маршрут, дорожно-транспортные происшествия, навигационные системы, улично-дорожная сеть, дорожно-транспортная ситуация, безопасность дорожного движения*

### **Введение**

В настоящее время во всем мире активно применяются интеллектуальные навигационные системы для автомобильного транспорта. Однако традиционные алгоритмы прокладывания маршрутов не учитывают ряд факторов, таких как реальное состояние дорожного покрытия, места концентрации ДТП, а также особенности поведения водителей в различных дорожных условиях. В этой связи исследование перспектив применения многокритериального подхода при формировании оптимальных и безопасных маршрутов движения является актуальной задачей [1].

### **Материал и методы**

Системы автомобильной маршрутной навигации в перспективе должны полностью обеспечить контроль и управление за функционированием всего дорожно-транспортного комплекса. Основным их преимуществом перед конкурентами является наличие возможности как детального, так и общего представления дорожной ситуации в реальном режиме времени. Интеграция их с интеллектуальными транспортными системами позволит еще в большей степени расширить функции диспетчеризации [2].

Концепция диспетчерского управления заключается не только в централизованной координации действий участников дорожного движения или перевозочного процесса, или предоставления информации об оптимальных маршрутах движения, но и на микроуровне отдельного автомобиля осуществляется выбор безопасной дистанции, установленной скорости, контроля полосы движения и т.д. [3].

Современные навигационные системы на автомобильном транспорте работают по принципу анализа двух факторов, определяющих выбор оптимального маршрута:

- 1) время;
- 2) расстояние.

Для оценивания скорости движения на участке навигатором, используется два основных метода:

- использование максимально разрешенной скорости участка;
- получение исходных данных путем обмена информацией между спутниковым приемником и передатчиком.

Существенным недостатком использования данных методов является то, что затруднено определение причины, по которым реальная скорости транспортного потока отличается

от конструктивной или предусмотренной правилами дорожного движения для данного участка. Конечно, каждый пользователь может оставлять соответствующие метки на электронной карте с указанием причин возникновения предзаторовых и заторовых состояний на улично-дорожной сети (УДС) [4-7]. Однако не каждый водитель или другой участник движения может объективно оценить, в чем истинная причина той или иной сложившейся дорожно-транспортной ситуации (ДТС). В результате этот участник дорожного движения просто фиксирует состоявшийся факт о состоянии трафика, и навигационная система оперативно реагирует на него, формируя оптимальный маршрут движения, принимая в качестве исходных данных скорость потока [8].

Система способна прогнозировать изменение уровня загрузки дороги на основе исходных данных, полученных от пользователей, но существенным недостатком является то, что вероятные изменения, связанные с поведением участником дорожного движения, не учитываются [9-11].

Следовательно, работа системы в таком режиме происходит на микроуровне, где учитываются взаимодействия между двумя автомобилями, двигающимися последовательно в транспортном потоке. В области организации дорожного движения данный подход известен как «теория следования за лидером» [12]. Основное второе уравнение данной теории формулируется следующим образом - ускорение следующего автомобиля в произвольный момент времени  $t$  зависит прямо пропорционально от разницы скоростей ведущего и ведомого автомобилей и обратно пропорционально расстоянию между ними.

$$\ddot{x}_{n+1}(t) = \frac{\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)}{d},$$

где  $\ddot{x}_{n+1}(t)$  – ускорение (замедление) ведомого автомобиля ( $\text{м/с}^2$ );

$\dot{x}_n(t)$  – скорость лидера ( $\text{м/с}$ );

$\dot{x}_{n+1}(t)$  – скорость ведомого автомобиля ( $\text{м/с}$ );

$d$  – дистанция безопасности ( $\text{м}$ ).

Одним из ключевых недостатков современных навигационных систем является зависимость от данных, поступающих от участников дорожного движения. Для корректной работы система должна обрабатывать информацию от достаточного количества пользователей. В случае, если число абонентов будет небольшим, то полученные данные теряют точность и становятся статистически незначимыми. К примеру, если водителям известно о наличии повреждений дорожного покрытия на определённой участки дороги, они предпочтут альтернативный маршрут движения. Это приводит к тому, что система не получает информацию о фактической дорожной ситуации и тем самым будет предлагать кратчайший маршрут, но с пониженными эксплуатационными показателями улично-дорожной сети [13].

Одним из этапов развития навигационных технологий стало внедрение функции прогнозирования изменений дорожной обстановки, основанного на анализе накопленных за последние годы статистических данных, соответствующих определённому времени суток, дню недели и сезону. Однако такая модель прогнозирования имеет ограниченную точность, поскольку транспортные потоки характеризуются стохастическим поведением, что делает возможным только вероятностную оценку их параметров [14]. В данном контексте поведение потока описывается на макроуровне с применением подходов, заимствованных из гидродинамики. Поток автомобилей рассматривается как непрерывная среда, где плотность  $q(S;t)$  отражает количество транспортных средств на единицу длины дороги, а интенсивность  $P(S;t)$  – число автомобилей, проходящих через сечение дороги за единицу времени. На этой основе определяется скорость движения потока как:

$$v = \frac{P}{q}.$$

Иными словами, усреднённая скорость транспортного потока определяется как функция плотности, зависящая от параметров  $v(q)$ . Использование детерминированной модели в качестве основы для навигационной системы вызывает сомнения в её надёжности. Любое непредвиденное событие, к примеру дорожно-транспортное происшествие, техническая не-



исправность автомобиля способно исказить расчёты и нарушить корректность планирования маршрута.

Кроме того, серьёзным упущением современных навигационных решений является отсутствие учёта аварийности при построении маршрутов. Такая информация особенно важна для начинающих водителей, осуществляющих путешествующие с детьми, и людей с хроническими заболеваниями. Обозначение участков с повышенным уровнем ДТП, указанием их характера, причин и статистики пострадавших могла бы не только повысить бдительность водителей, но и способствовать выбору альтернативных направлений маршрутов, минуя потенциально опасные зоны.

Еще одним существенным недостатком навигационных систем является полное отсутствие анализа маршрутов движения по условиям аварийности. Эта информация была бы очень полезна при планировании поездки для определенных категорий участников дорожного движения, таких как начинающие водители, осуществляющие поездку с пассажирами детьми, водители страдающие хроническими заболеваниями и т.д. Обозначение мест концентрации ДТП на автомобильной дороге с указанием их видов, причин возникновения, количества пострадавших позволит не только повысить концентрацию водителей на данных участках, но и отказаться от их проезда в отдельных случаях при выборе маршрута движения.

Кроме того, существующие навигационные системы не позволяют анализировать маршруты по условиям движения по ним грузовых автомобилей и автопоездов. Особенно актуальной эта информация является при организации перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов. Основная часть региональных автомобильных дорог в нашей стране по-прежнему имеет две полосы движения в обоих направлениях. Поэтому появление в потоке тихоходного автомобиля, да еще и с большими геометрическими параметрами, накладывает дополнительные ограничения на транспортно-эксплуатационные характеристики дороги. В результате значительно возрастает количество маневров, совершаемых водителями транспортных средств, и повышается вероятность возникновения ДТП, увеличивается время поездки, загрязнение окружающей среды, износ автомобилей и покрытия проезжей части.

#### *Теория*

Как известно [15], время следования за тихоходным автомобилем в потоке определяется скоростью обгоняющего автомобиля:

$$t = \frac{2(L_a + L_b)}{V_a - V_b},$$

где  $t$  — время следования за тихоходным автомобилем (с);

$L_a$  — динамический габарит обгоняющего автомобиля (м);

$L_b$  — динамический габарит тихоходного автомобиля (м);

$V_a$  — скорость обгоняющего автомобиля (м/с);

$V_b$  — скорость тихоходного автомобиля (м/с).

Вероятность обгона в сложившихся условиях зависит также и от интенсивности движения, как в попутном, так и во встречном направлениях [15]:

$$P_{\text{обр1}} = \psi N_n t e^{-\psi N_n t} (1 - (1 - e^{-N_b t})^{n+1}),$$

где  $P_{\text{обр1}}$  — вероятность обгона тихоходного автомобиля со следованием в течение времени  $nt$ ;

$\psi$  — доля тихоходных автомобилей в потоке;

$N_n$  — интенсивность движения в попутном направлении (ед/с);

$N_b$  — интенсивность движения во встречном направлении (ед/с).

Таким образом, видно, что время необходимое для обгона тихоходного автомобиля в потоке может значительно возрасти как от условий организации движения, так и его состава. Это, в свою очередь, приведет к существенным отклонениям времени прибытия автомобиля от запланированного или будет служить дополнительным стимулом для его компенсации водителем на других участках дороги, что также отрицательно скажется на безопасности движения.

Поэтому существующую концепцию работы маршрутных навигационных систем для автомобильного транспорта необходимо изменять с учетом критического подхода к конечному результату и повышению безопасности дорожного движения. Перспективным направлением развития в данном случае является построение интеллектуальной системы, работающей на следующих принципах:

1) многокритериальный подход оценки маршрутов движения с возможностью вариации их по заданным параметрам. Интеллектуальная навигационная система должна давать диспетчерам, водителям или другим заинтересованным лицам возможность анализировать различные пути следования, выполнять их градацию по интересующим параметрам и находить оптимальные варианты для конкретных задач и условий;

2) ввод и анализ данных о водителе, транспортном средстве, перевозимом грузе и дополнительных условиях (например, наличия АЗС, мест отдыха, крупных населенных пунктов и т.д.) в логический блок интеллектуальной системы маршрутной навигации. Такая информация позволит системе подобрать максимально удобный и безопасный маршрут, основываясь на опыте водителя, его манере вождения, характеристиках транспортного средства, типе перевозимого груза и соблюдения трудового законодательства РФ при коммерческих перевозках;

3) интеграция камер видеонаблюдения и периферийных элементов интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах в единую базу данных сбора и обработки информации о характеристиках потоков, с последующей передачей ее на устройства обработки и расчета показателей безопасности в логическом блоке маршрутной навигации. Практически на всех элементах современной УДС установлено большое количество видео камер, детекторов транспорта, радаров и других контрольно-измерительных приборов. Информация с этих устройств попадает в одну конкретную базу данных и анализируется только по заданным алгоритмам. Онлайн загрузка и обработка этих данных в логическом блоке интеллектуальной системы маршрутной навигации позволит своевременно предупреждать диспетчеров и водителей о различных изменениях на пути их следования и оперативно генерировать управляющие воздействия по достижению оптимальных значений заданных параметров;

4) получение информации о состоянии дорожных условий с помощью анализа видеосъемки отдельных участков УДС с регистраторов, подключенных к системе пользователей, агрегаторов и обслуживающих организаций с установленной периодичностью. Регулярный анализ состояния дорожных условий позволит:

- учитывать влияние их изменения на характеристики транспортных потоков и транспортно-эксплуатационные показатели участков дорог;
- проектировать маршруты движения ТС с учетом потенциальной опасности участков автодорог;
- обеспечивать оперативную передачу информации в обслуживающие организации для своевременного устранения выявленных нарушений требований нормативной документации;

5) интеграция данных онлайн сервисов топографического анализа ДТП в логический блок навигационной системы с целью выявления очагов аварийности по маршрутам движения транспортных средств. Одним из широко распространенных проектов топографического анализа происшествий в России является «Карта ДТП». В интерфейсе этого онлайн сервиса можно увидеть всю необходимую информацию о местах концентрации ДТП на территории РФ. Анализ видов и причин ДТП с привязкой к продольному и поперечному профилю автомобильной дороги, дорожным условиям, данным водителя и характеристикам ТП, позволит подобрать наиболее удобный маршрут в конкретный момент времени для данного водителя или типа груза при коммерческой перевозке.

Типовая схема современных маршрутных навигационных систем автомобильного транспорта представлена на рисунке 1.

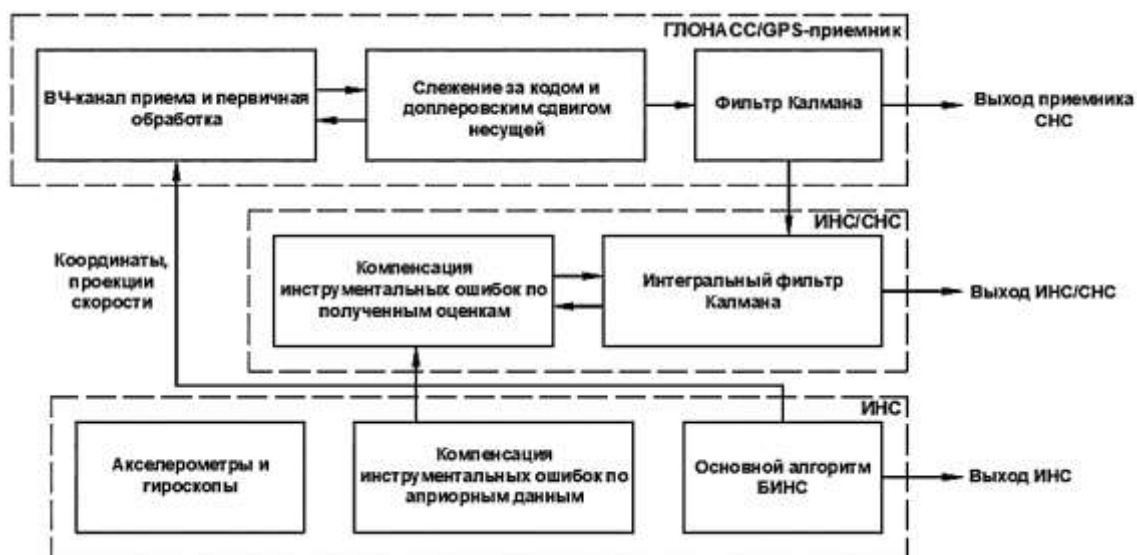


Рисунок 1 – Функциональная схема системы маршрутной навигации транспортных средств

Система включает три основных блока, каждый из которых выполняет свою задачу в процессе навигации (рис. 1):

1) Спутниковая навигационная система (СНС) состоит из:

- блока высокочастотного канала (ВЧ-канал) и первичной обработки;
- блока слежения за кодом и доплеровским сдвигом несущей частоты;
- блока фильтра Калмана.

2) Инерциальная навигационная система (ИНС) состоит из:

- блока, в который входит набор датчиков, в минимальной комплектации акселерометров и гироскопов. Этот блок может дополняться датчиками пройденного пути (одометрами), датчиками положения автомобиля относительно дороги и другими;
- блока компенсации инструментальных ошибок по априорным данным;
- блока основного алгоритма бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС).

3) Объединение данных ИНС и СНС производится программно по алгоритму, заложенному в компьютер либо в контроллер. Структурно программа содержит как минимум два модуля:

- модуль компенсации инструментальных ошибок по полученным оценкам;
- модуль фильтра Калмана. При этом в различных реализациях алгоритма могут использоваться и другие виды фильтров, например комплиментарный фильтр или фильтр Мажвика.

Рассматривая СНС и ИНС по отдельности, можно выделить их преимущества и недостатки.

Точность определения местоположения с помощью СНС на приборах бытового уровня достигает нескольких метров при этом она не зависит от пройденного автомобилем расстояния. При использовании наземных станций коррекции возможно увеличить точность определения местоположения до 1 метра. Наилучшую точность (до сантиметров) удастся получить на приборах СНС геодезического класса, однако стоимость подобных приборов не позволяет широко их использовать.

Значительное влияние на точность СНС оказывают:

- число наблюдаемых спутников в момент определения положения автомобиля;
- погодные условия. Дождь, снег, плотная облачность существенно сказываются на прохождении высокочастотного сигнала СНС от навигационных спутников;
- движение автомобиля в плотной застройке, тоннелях, лесах также значительно снижает точность определения местоположения;

- наличие радиопомех на частотах работы СНС.

ИНС позволяют на ограниченном отрезке пройденного расстояния на основе показаний акселерометров определять пройденный путь автомобиля благодаря двойному интегрированию проекций ускорения. При этом, благодаря относительно высокой частоте получаемых от ИНС данных точность определения местоположения автомобиля может достигать сантиметровой точности. Также, с помощью ИНС можно получать данные об ориентации автомобиля относительно проекции ускорения свободного падения, т.е. возможно вычислить углы наклона автомобиля, а на основании этого продольный и поперечный уклоны дороги. Наилучший результат для определения углов наклона дороги можно получить сочетанием ИНС и системы определения положения кузова автомобиля относительно дороги. На основании данных акселерометра автомобиля возможно получать данные о состоянии дорожного покрытия, т.к. при движении по неровной дороге возникают существенные вертикальные ускорения.

К недостаткам ИНС следует отнести высокую зашумленность сигнала. Для акселерометра это влияние вибраций автомобиля, для гироскопа – дрейф нулевого значения показаний. Определение пройденного расстояния только по показаниям БИНС бытового уровня приводит к быстрому росту ошибки из-за двойного интегрирования проекций ускорения. Для подобных систем приемлемая точность определенного с помощью БИНС пройденного пути составляет не более 10-15 метров.

### **Результаты и обсуждение**

Реализация представленных принципов в маршрутной навигационной системе автомобильного транспорта позволит перевести ее функционирование на более высокий уровень, то есть из инерциальной такая система станет интеллектуальной. Особое значение в этом случае будет уделено именно безопасности дорожного движения.

### **Выводы**

Таким образом, современные навигационные системы недостаточно учитывают количество факторов, влияющих на безопасность движения. В научной работе обоснована необходимость перехода к более интеллектуальному способу построения маршрутов, на основе комплексной обработки данных о дороге, транспортных средствах, водителях и аварийности.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Михеева Т.И. Структурно-параметрический синтез интеллектуальных транспортных систем. Самара: Самар. научн. центр РАН, 2008. 380 с. EDN TSADYZ.
2. Баканов К.С., Ермаганбетов А.С. Состояние безопасности дорожного движения как конкурентное преимущество перевозчика на рынке регулярных перевозок пассажиров // Российское конкурентное право и экономика. 2021. №3(27). С. 64-73. DOI 10.47361/2542-0259-2021-3-27-64-73.
3. Бакланова К.В. Влияние параметров транспортного потока и характеристик дорог на безопасность дорожного движения // Интеллект. инновации. инвестиции. 2023. №2. С. 99-110. DOI 10.25198/2077-7175-2023-2-99.
4. Девяцына С.Н., Захаров А.П., Хорошайло В.С. Разработка нового метода навигации для общественного транспорта // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. 2023. №6. С. 156. EDN KEJQZL.
5. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Котенкова И.Н., Коцурба С.В. Пути повышения эффективности функционирования транспортной системы городской агломерации // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2023. №9. С. 220-224. DOI 10.23672/SAE.2023.9.9.016. EDN AOUHTS.
6. Веремчук Н.С. Элементы имитационного моделирования в вопросах оптимизации дорожного движения // Вестник кибернетики. 2022. №4(48). С. 23-28. DOI 10.34822/1999-7604-2022-4-23-28.
7. Трофимова Л.С., Гаврилин Д.В., Кабжамитова А.С. Развитие информационной системы навигации для планирования пассажирских перевозок // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, приуроченной к проведению в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). 2022. С. 235-239. EDN SMTMIK.
8. Novikov I.A., Katunin A.A., Novikov I.A., Kravchenko A.A., Shevtsova A.G. Development of a graphical method for choosing the optimal mode of traffic light // Journal of Physics: Conference Series – 2018. T. 1015. DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032127.

9. Баканов К.С., Ермаганбетов А.С. Состояние безопасности дорожного движения как конкурентное преимущество перевозчика на рынке регулярных перевозок пассажиров // Российское конкурентное право и экономика. 2021. №3 (27). С. 64-73. DOI 10.47361/2542-0259-2021-3-27-64-73.

10. Волков В.С., Кастырин Д.Ю., Лебедев Е.Г. Влияние скоростного режима движения транспорта на показатель опасности дорожного пересечения // Мир транспорта и технологических машин. 2017. №2(57). С. 74-80.

11. Царегородцева Е.А. О возможности использования временных рядов дорожно-транспортной аварийности // Современная наука. 2022. №4. С. 64-66. EDN ZSHBYI.

12. Султанова Л.М., Алиев К.Ш. Анализ факторов, влияющих на вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий // Неделя науки-2022. 2022. С. 323-324. EDN ВКСМАС.

13. Раптанова П.А. Разработка проекта организации дорожного движения в интеллектуальной транспортной геоинформационной системе ITSGIS // IT & Transport - ИТ & Транспорт: Сборник научных. Т. 19. Самара: ООО «Научно-производственный центр «Интеллектуальные транспортные системы». 2022. С. 10-19. EDN PVASTK.

14. Митряев И.С. Использование интеллектуальной транспортной системы для повышения безопасности дорожного движения // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования. 2021. №1(4). С. 310-315. EDN QXVKCI.

15. Ефимов А.Д., Биюшкин Н.А. Разработка методики оценки вероятности возникновения аварийно-опасных ситуаций на улично-дорожной сети // Современная наука. 2021. №5. С. 29-33. DOI 10.53039/2079-4401.2021.7.5.006.

**Ефимов Артем Дмитриевич**

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Адрес: 346400, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Международные логистические системы и комплексы»

E-mail: e1984ad@mail.ru

**Алибагандов Алибаганд Омарович**

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Адрес: 346400, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Аспирант

E-mail: Alibagand1999@mail.ru

**Савченко Юрий Иванович**

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Адрес: 346400, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Старший преподаватель кафедры «Международные логистические системы и комплексы»

E-mail: iusavchenko@mail.ru

---

A.D. EFIMOV, A.O. ALIBAGANDOV, Y.I. SAVCHENKO

## ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS TECHNOLOGIES IN AUTOMOTIVE ROUTE NAVIGATION

**Abstract.** *The analysis of existing approaches has been carried out and the prospects for the development of intelligent navigation systems for motor transport have been identified. The principles of building intelligent navigation systems based on a multi-criteria approach, taking into account data on drivers, vehicles, road conditions and accident analysis are proposed.*

**Keywords:** *optimal route, traffic accidents, navigation systems, road network, traffic situation, road safety*

## BIBLIOGRAPHY

1. Mikheeva T.I. Strukturno-parametricheskii sintez intellektual'nykh transportnykh sistem. Samara: Samar. nauchn. tsentr RAN, 2008. 380 s. EDN TSADYZ.

2. Bakanov K.S., Ermaganbetov A.S. Costoyanie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya kak konkurentnoe preimushchestvo perevozchika na rynke regul'yarnykh perevozok passazhirov // Rossiyskoe konkurentnoe pravo i

ekonomika. 2021. №3(27). S. 64-73. DOI 10.47361/2542-0259-2021-3-27-64-73.

3. Baklanova K.V. Vliyanie parametrov transportnogo potoka i kharakteristik dorog na bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya // Intellect. innovatsii. investitsii. 2023. №2. S. 99-110. DOI 10.25198/2077-7175-2023-2-99.

4. Devitsyna S.N., Zakharov A.P., Horoshaylo V.S. Razrabotka novogo metoda navigatsii dlya obshchestvennogo transporta // Sovremennyye problemy radioelektroniki i telekommunikatsiy. 2023. №6. S. 156. EDN KEJQZI.

5. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Kotenkova I.N., Kotsurba S.V. Puti povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya transportnoy sistemy gorodskoy aglomeratsii // Gumanitarnye, sotsial`no-ekonomicheskie i obshchestvennye nauki. 2023. №9. S. 220-224. DOI 10.23672/SAE.2023.9.9.016. EDN AOUHTS.

6. Veremchuk N.S. Elementy imitatsionnogo modelirovaniya v voprosakh optimizatsii dorozhnogo dvizheniya // Vestnik kibernetiki. 2022. №4(48). S. 23-28. DOI 10.34822/1999-7604-2022-4-23-28.

7. Trofimova L.S., Gavrilin D.V., Kabzhamitova A.S. Razvitie informatsionnoy sistemy navigatsii dlya planirovaniya passazhirskikh perevozok // Arkhitekturno-stroitel`nyy i dorozhno-transportnyy komplekсы: problemy, perspektivy, innovatsii: Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, priurochennoy k provedeniyu v Rossiyskoy Federatsii Desyatiletia nauki i tekhnologii. Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil`no-dorozhnyy universitet (SibADI). 2022. S. 235-239. EDN SMTMIK.

8. Novikov I.A., Katunin A.A., Novikov I.A., Kravchenko A.A., Shevtsova A.G. Development of a graphical method for choosing the optimal mode of traffic light // Journal of Physics: Conference Series - 2018. T. 1015. DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032127.

9. Bakanov K.S., Ermaganbetov A.S. Sostoyanie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya kak konkurentnoe premushchestvo perevozchika na rynke regul'yarnykh perevozok passazhirov // Rossiyskoe konkurentnoe pravo i ekonomika. 2021. №3 (27). S. 64-73. DOI 10.47361/2542-0259-2021-3-27-64-73.

10. Volkov V.S., Kastyurin D.YU., Lebedev E.G. Vliyanie skorostnogo rezhima dvizheniya transporta na pokazatel` opasnosti dorozhnogo peresecheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2017. №2(57). S. 74-80.

11. Tsaregorodtseva E.A. O vozmozhnosti ispol'zovaniya vremennykh ryadov dorozhno-transportnoy aviatsionnosti // Sovremennaya nauka. 2022. №4. S. 64-66. EDN ZSHBYI.

12. Sultanova L.M., Aliev K.SH. Analiz faktorov, vliyayushchikh na veroyatnost` vozniknoveniya dorozhno-transportnykh proisshestviy // Nedelya nauki-2022. 2022. S. 323-324. EDN BKCMAC.

13. Raptanova P.A. Razrabotka proekta organizatsii dorozhnogo dvizheniya v intellektual`noy transportnoy geoinformatsionnoy sisteme ITSGIS // IT & Transport - IT & Transport: Sbornik nauchnykh. T. 19. Samara: OOO «Nauchno-proizvodstvennyy tsentr «Intellektual`nye transportnye sistemy»». 2022. S. 10-19. EDN PVASTK.

14. Mitryaev I.S. Ispol'zovanie intellektual`noy transportnoy sistemy dlya povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Upravlenie deyatel`nost`yu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyanie, problemy, puti sovershenstvovaniya. 2021. №1(4). S. 310-315. EDN QXBKCI.

15. Efimov A.D., Biyushkin N.A. Razrabotka metodiki otsenki veroyatnosti vozniknoveniya avariynno-opasnykh situatsiy na ulichno-dorozhnoy seti // Sovremennaya nauka. 2021. №5. S. 29-33. DOI 10.53039/2079-4401.2021.7.5.006.

**Efimov Artem Dmitrievich**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI).

Address: 346400, Russia, Novocherkassk, 132 Prosvesvaniya str.

Candidate of technical sciences

E-mail: e1984ad@mail.ru

**Alibagandov Alibagand Omarovich**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI).

Address: 346400, Russia, Novocherkassk, 132, Prosvesvaniya str.

Graduate student

E-mail: Alibagand1999@mail.ru

**Savchenko Yuri Ivanovich**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI).

Address: 346400, Russia, Novocherkassk, 132 Prosvesvaniya str.

Senior lecturer

E-mail: iusavchenko@mail.ru

Х. ЦЗЯНГ, И. ЛИ, Р. ДАЙ, Ю. ВЭЙ

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ CAV В МНОГОЗОНАЛЬНЫХ ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

**Аннотация.** В статье рассматривается макроскопическая динамическая эволюция смешанного транспортного потока с акцентом на эффекты взаимосвязи между несколькими городскими зонами. Предложена модель макроскопической фундаментальной диаграммы (МФД), которая интегрирует характеристики как подключенных и автономных транспортных средств (CAV), так и транспортных средств, управляемых человеком (HV), в традиционную треугольную МФД. Модель учитывает различия во времени отклика между CAV и HV, а также включает особенности топологии городской дорожной сети и схемы работы светофоров. Численные эксперименты были проведены на основе реальной улично-дорожной сети города Цзинань (Китай) длиной 30 км с целью анализа влияния различных уровней проникновения CAV (0%, 20%, 40%) на динамику транспортного потока в отдельных городских кварталах. Результаты показали, что при низком уровне проникновения CAV (0%-20%) смешанный транспортный поток характеризуется снижением пропускной способности по сравнению с потоком HV, что объясняется сложностями взаимодействия между HV и CAV.

**Ключевые слова:** макроскопическая фундаментальная диаграмма, смешанный транспортный поток, городская транспортная динамика, эффекты взаимосвязи

### Введение

С быстрым развитием технологий автономного вождения смешанный транспортный поток, включающий как подключённые и автономные транспортные средства (Connected and autonomous vehicles, CAV), так и транспортные средства, управляемые человеком (Human-driven vehicles, HV), становится значимым элементом городских транспортных систем. Однако существующие модели транспортного потока в основном сосредоточены на сценариях с одним кварталом или конкретными типами транспортных средств, не учитывая комплексный анализ эффектов многоквартальной связи. Поэтому исследование влияния многоквартальных эффектов связи на макроскопическую динамическую эволюцию смешанного транспортного потока имеет важное теоретическое и практическое значение.

В последние годы учёные достигли значительного прогресса в моделировании смешанного транспортного потока. Ли и др. (2023) предложили модель на основе клеточных автоматов, учитывающую когнитивные особенности водителей, показав, что CAV могут снизить заторы и нестабильность движения [1]. Ло и др. (2023) провели анализ стабильности, указав, что более высокий уровень проникновения CAV повышает стабильность транспортного потока [2]. Сюй и др. (2024) разработали макроскопическую модель движения, явно учитывающую поведение CAV, решая проблемы сохранения числа транспортных средств и доказав, что координация CAV может снизить общее время в пути [3]. Эти исследования подчёркивают важность моделирования смешанного транспортного потока для учёта сложных взаимодействий между CAV и HV.

Эффекты связи между несколькими городскими кварталами ещё больше усложняют макроскопическую динамику смешанного транспортного потока. Ху и др. (2020) представили модель анализа пропускной способности для смешанных транспортных городских коридоров, показав через численные симуляции, что определённые настройки времени реакции могут вызвать монотонное увеличение или уменьшение пропускной способности коридора в зависимости от уровня проникновения CAV [4]. Йокум и др. (2021) разработали схему координированного управления движением, направленную на снижение общего времени в пути в смешанных сетях; численные испытания показали, что совместная реализация с окружаю

щим метеорингом может эффективно улучшить работу движения [5]. Билал и др. (2023) разработали макроскопическую фундаментальную диаграмму для гетерогенных транспортных потоков с уровнем проникновения автономных транспортных средств как ключевым параметром, учитывая демографию пользователей, использование земли и характеристики дорожной сети; их результаты предлагают реалистичный подход к определению модели распределения многотранспортного равновесия для гетерогенных транспортных потоков, включая автономные транспортные средства [6]. Яо и др. (2023) создали модель смешанной фундаментальной диаграммы с выделенными полосами для CAV, показав, что развитие выделенных полос для CAV при разумных уровнях проникновения может повысить пропускную способность [7]. Хуан и др. (2023) использовали симуляции SUMO для моделирования различных уровней CAV при различных уровнях проникновения в реальной дорожной сети Пекина, обнаружив, что когда транспортные состояния находятся в ненасыщенных или насыщенных условиях, CAV способствуют увеличению пропускной способности; однако в условиях перенасыщения CAV могут привести к снижению пропускной способности [8].

Несмотря на эти достижения, большинство моделей недостаточно учитывают влияние многозонных эффектов связи на эволюцию транспортного потока. Настоящее исследование направлено на построение модели макроскопической фундаментальной диаграммы смешанного транспортного потока, интегрирующей эффекты многозонной связи, исследуя закономерности эволюции транспортного потока городских сетевых кварталов при различных уровнях проникновения CAV. Численные симуляции, проведённые на 30 км реальной улично-дорожной сети в центре Цзинани (Китай), анализируют влияние уровней проникновения CAV на взаимодействия транспортного потока между кварталами, выявляя механизмы, через которые многозонные эффекты связи влияют на макроскопическую динамическую эволюцию смешанного транспортного потока.

#### **Материал и методы**

Для исследования воздействия смешанного транспортного потока на макроскопические характеристики сети с фундаментальной теоретической точки зрения, в данном разделе интегрируются характеристики смешанного транспортного потока в традиционную треугольную фундаментальную диаграмму. Кроме того, учитываются топология городской дорожной сети и схемы регулирования сигналов светофоров для построения макроскопической фундаментальной диаграммы для смешанного транспорта. С использованием методов численного моделирования разрабатывается модель динамической эволюции смешанного транспортного потока с эффектами многозонной связи в реальной 30 км улично-дорожной сети в центре Цзинане (рис. 1). Эта модель исследует влияние различных уровней проникновения CAV на динамику межквартальных транспортных потоков.



Рисунок 1 – Фрагмент улично-дорожной сети в центре Цзинани (Китай)



В следующем подходе моделирования вводятся параметры характеристик смешанного транспортного потока:

- $t_{rea\ CAVfHV}$  - время реакции ведущего CAV, следящего за HV;
- $t_{rea\ CAVs}$  - время реакции взаимного следования между CAV;
- $t_{rea\ HVfCAV}$  - время реакции HV, следящего за CAV;
- $t_{rea\ HVs}$  - время реакции HV, следящего за другим HV;
- $n$  – число CAV в транспортном потоке;
- $m$  – число HV в транспортном потоке.

Критическая плотность смешанного транспортного потока  $k_c$  определяется как среднее количество транспортных средств на единицу длины при условии, что все транспортные средства находятся в режиме следования за лидером на скорости свободного потока  $v_f$ . Эта модель теоретически учитывает различия во времени реакции между CAV и HV, что способствует определению теоретической пропускной способности смешанного транспортного потока.

Формула для критической плотности выражается следующим образом:

$$k_c = \frac{1}{v_f \cdot (p_{rea\ CAV} + p_{rea\ HV} + p_{rea\ HV-CAV}) + l + d_{jam}}. \quad (1)$$

Знаменатель в уравнении (1) отражает влияние различных времён реакции между CAV и HV на параметры плотности транспортного потока.

$$p_{rea\ CAV} = t_{rea\ CAVs} \cdot \frac{n}{n+m}; \quad (2)$$

$$p_{rea\ HV} = t_{rea\ HVs} \cdot \frac{m}{n+m}; \quad (3)$$

$$p_{rea\ HV-CAV} = \frac{t_{rea\ CAVfHV} + t_{rea\ HVfCAV} - t_{rea\ CAVs} - t_{rea\ HVs}}{n+m}, \quad (4)$$

где  $k_c$  – критическая плотность смешанного транспортного потока, км/ч;

$v_f$  – скорость свободного движения, км/ч;

$l$  – длина транспортного средства, км;

$d_{jam}$  – дистанция затора, км;

$p_{rea\ CAV}$  – доля реакции среди CAV в смешанном транспортном потоке;

$p_{rea\ HV}$  – доля реакции среди HV в смешанном транспортном потоке;

$p_{rea\ HV-CAV}$  – доля взаимодействия между CAV и HV.

### **Теория / Расчет**

При текущих ограничениях технологий связи CAV и уровней их проникновения максимальное количество CAV в составе колонны в смешанном транспортном потоке составляет 20, при этом максимальный уровень проникновения не превышает 96%. Согласно результатам моделирования методом Монте-Карло, представленным Уэйлином Р. [9-11], максимальный наклон кривой тренда роста и максимальный наклон кривой тренда спада фундаментальной диаграммы выражаются следующим образом:

$$\begin{cases} q_{max} = \frac{v_f}{v_f \cdot (p_{rea\ CAV} + p_{rea\ HV} + p_{rea\ HV-CAV}) + l + d_{jam}} \\ n = 0.7917e^{\frac{2.063n}{n+m}} + 2.234 \cdot 10^{-8} e^{\frac{21.32n}{n+m}} \end{cases} \quad (5)$$

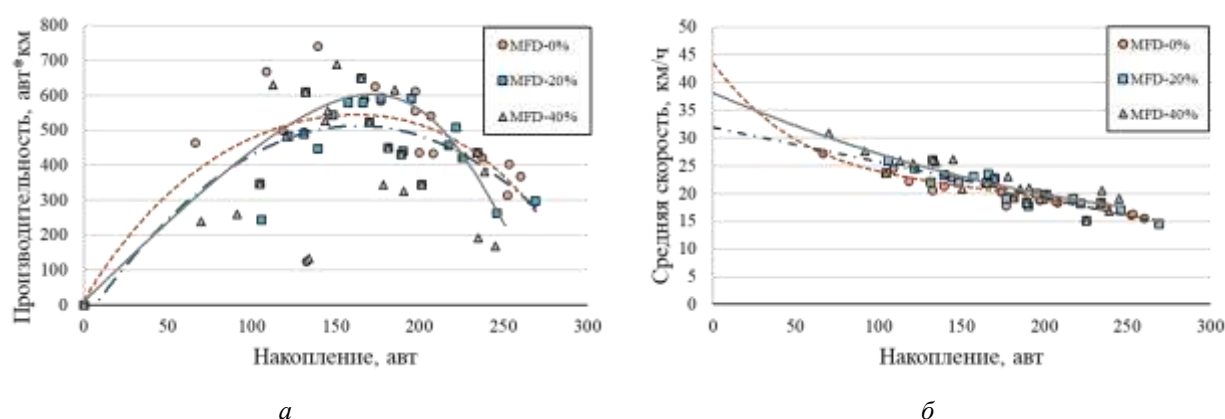
Очевидно, как вытекает из предыдущих уравнений, при ограничениях уровня проникновения максимальный поток  $q_{max}$  демонстрирует немонотонную функциональную зависимость. Это поведение обусловлено различиями во времени реакции между CAV и HV, что приводит к сложным взаимодействиям между двумя потоками движения. Когда совокупное время реакции CAV, следующих за HV; и HV, следующих за CAV, меньше или равно време-

ни реакции между однотипными транспортными средствами, то есть  $t_{rea\ CAVfHV} + t_{rea\ HVfCAV} \leq t_{rea\ CAVs} + t_{rea\ HVs}$ , пропускная способность увеличивается монотонно с увеличением уровня проникновения CAV.

Напротив, когда совокупное время реакции взаимодействия CAV и HV превышает время реакции между однотипными транспортными средствами, то есть  $t_{rea\ CAVfHV} + t_{rea\ HVfCAV} > t_{rea\ CAVs} + t_{rea\ HVs}$ , монотонность пропускной способности характеризуется двумя различными фазами:

- **Фаза I:** На этом этапе пропускная способность уменьшается монотонно с увеличением уровня проникновения CAV.
- **Фаза II:** С дальнейшим увеличением уровня проникновения CAV пропускная способность увеличивается монотонно.

Используя методы численного моделирования, изменения уровня проникновения ПАТС (0 %, 20 %, 40 %) в ключевых сегментах дорожной сети в центре Цзинани приводят к макроскопическим параметрическим зависимостям, представленным на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Отношения макроскопических параметров транспортного потока при различных уровнях проникновения CAV: а - Отношение между производством и накоплением; б - Отношение между средней скоростью и накоплением**

На графиках, представленных на рисунке 1, очевидно, что при низких уровнях проникновения CAV (0 % – 20 %) пропускная способность сегментов смешанного транспортного потока уступает таковой у чисто HV. Это объясняется неполной адаптацией водителей ТУЧ и традиционной дорожной инфраструктуры к быстрому времени отклика CAV. Однако с увеличением уровня проникновения CAV (20 % – 40 %) постепенно начинают доминировать в смешанном потоке, что приводит к более частой координации между CAV. В результате пропускная способность смешанного потока превышает таковую у чисто HV.

Аналогично, при рассмотрении взаимодействий транспортных потоков между кварталами изменения в границах зоны притяжения городских кварталов классифицируются в соответствии с двухфазными монотонными изменениями пропускной способности, как выражено в следующих уравнениях:

$$k = \frac{-K_{c2} \cdot n_{i,critical}}{K_{c1} \cdot u \cdot (n_{2,jam} - n_{2,critical})} - 1, \quad (6)$$

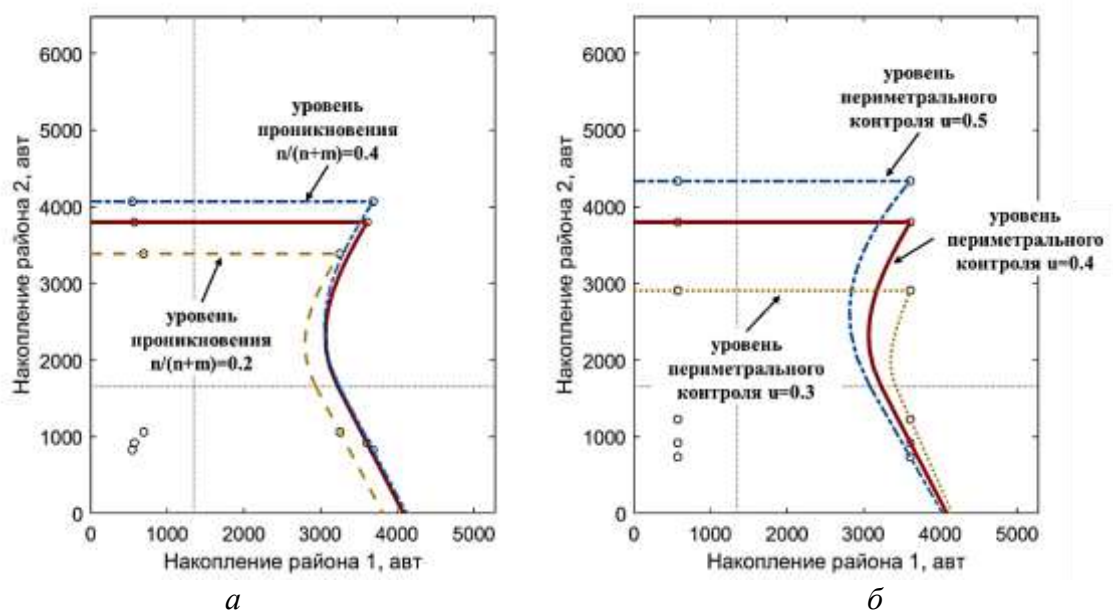
где  $k_{ci} (i=1,2,...)$  – оптимальная эффективность смешанного потока в районе  $i$ ;  
 $n_{i,critical} (i=1,2,...)$  – критическое накопление транспортных средств для района  $i$ , авт.;  
 $n_{2,jam}$  – накопление транспортных средств в заторе для района 2, авт.;  
 $k$  – коэффициент роста границы зоны притяжения.

### Результаты и обсуждение

С использованием методов численного моделирования построена макроскопическая фундаментальная диаграмма (МФД) для динамической эволюции смешанного транспортного потока с учетом эффектов транспортного взаимодействия между центральной и прилегающими зонами. Экспериментальный сценарий включает 30 км реальной улично-дорожную сеть в центре Цзинане (Китай) в часы пик, где приток транспорта из прилегающих зон требует применения мер периметрального контроля в центральной зоне.

Исходные параметры были взяты из динамического макроскопического анализа состояния дорожного движения двух зон Цзинани [12-15]. Параметры МФД для двух зон следующие: для зоны 1:  $n_{1,critical} = 1653.9$  авт,  $n_{1,jam} = 6477.8$  авт,  $n_{2,critical} = 1346.1$  авт, и  $n_{2,jam} = 5272.2$  авт. Критическая (оптимальная) эффективность для двух зон составляют  $K_{c1} = 0.45$  авт/с, and  $K_{c2} = 0.4$  авт/с соответственно. Входные данные для исследуемой сети: интенсивности транспортного потока двух зон составляют  $q_1 = 0.07$  авт/с,  $q_2 = 0.029$  авт/с,  $q_3 = 0.071$  авт/с; периметральный контроль  $u(t) = 0.4$ .

Аналогично, с использованием методов численного моделирования, уровень проникновения SAV в данном сценарии постепенно увеличивается (0 % – 20 % – 40 %), чтобы получить тенденции изменения зоны притяжения, показанные на рисунке 2а. Для сравнительных экспериментов по изменениям зоны притяжения периметральный контроль  $u$  постепенно ужесточается (0.3 – 0.4 – 0.5), при этом параметры МФД двух зон остаются неизменными, с целью контроля притока транспорта в центральную зону, как показано на рисунке 2б.



**Рисунок 3 – Тенденция макроскопического транспортного потока в двух зонах:**

а - Изменение зоны притяжения при различных уровнях проникновения SAV; б - Изменение зоны притяжения при различных уровнях периметрального контроля

Эволюционные тенденции макроскопического транспортного потока в двух зонах: как показано на рисунке 3а, увеличение уровня проникновения SAV изменяет формы МФД обеих зон, следуя тенденции сначала снижения, а затем увеличения пропускной способности. При низких уровнях проникновения (20 %) зона притяжения сужается. Однако с увеличением уровня проникновения зона притяжения превышает область, наблюдаемую при чисто HV-операциях.

В отличие от этого, как показано на рисунке 3б, при постепенном ужесточении периметрального контроля  $u$  (0.3 – 0.4 – 0.5), при неизменных МФД для обеих зон, изменение формы МФД более выражено при низких уровнях проникновения. При высоких уровнях

проникновения увеличение зоны притяжения происходит более постепенно, и более высокие уровни периметрального контроля приводят к более значительным увеличениям зоны притяжения.

### **Выводы**

Интеграция подключённых и автономных транспортных средств (CAV) в городские дорожные сети знаменует собой трансформационный сдвиг в транспортных системах. Данное исследование углубляется в макроскопическую динамику смешанных транспортных потоков, акцентируя внимание на эффектах сцепления между городскими блоками и их влиянии на транспортную эффективность.

Ключевые результаты:

- немонотонная зависимость пропускной способности от уровня проникновения CAV: Анализ показывает немонотонную зависимость между пропускной способностью и уровнем проникновения CAV. При низких уровнях проникновения смешанный транспортный поток демонстрирует снижение пропускной способности из-за адаптационных трудностей между HV и CAV. Однако с увеличением уровня проникновения CAV улучшается координация, что приводит к повышению пропускной способности;

- влияние периметрального контроля: Меры периметрального контроля играют ключевую роль в управлении притоком транспорта из прилегающих районов. Регулировка уровней контроля границ может существенно повлиять на зоны притяжения городских блоков, подчеркивая важность динамичных стратегий управления движением;

- воздействие уровня проникновения CAV на зоны притяжения: Исследование демонстрирует, что различные уровни проникновения CAV приводят к значительным изменениям в зонах притяжения городских блоков. При высоких уровнях проникновения зоны притяжения расширяются, что указывает на изменение транспортных потоков и необходимость адаптивного планирования инфраструктуры.

Практическое значение для будущей городской мобильности:

- адаптивное управление движением: Результаты подчеркивают необходимость внедрения адаптивных систем управления движением, способных реагировать на динамичную природу смешанных транспортных потоков. Реализация механизмов мониторинга и контроля в реальном времени будет необходима для оптимизации транспортной эффективности;

- планирование инфраструктуры: Городским планировщикам следует учитывать изменяющиеся динамики движения, связанные с увеличением проникновения CAV. Проектирование гибкой инфраструктуры, способной обслуживать как HV, так и CAV, будет ключевым для обеспечения беспрепятственной интеграции;

- разработка политики: Политикам следует сосредоточиться на разработке нормативных актов, способствующих постепенной интеграции CAV, обеспечивая безопасность и эффективность. Установление стандартов для коммуникации между транспортными средствами и их совместимости будет критически важным.

Переход к смешанной транспортной среде представляет собой как вызовы, так и возможности. Понимание макроскопической динамики смешанных транспортных потоков и внедрение адаптивных стратегий позволит городам повысить транспортную эффективность и проложить путь к устойчивому будущему транспорта.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. X. Li, X. Zhao, Y. Xiao, X. Ma, X. Wang. Modeling mixed traffic flows of human-driving vehicles and connected and autonomous vehicles considering human drivers' cognitive characteristics and driving behavior interaction // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 609. 128368. 2023.
2. R. Luo, Q. Gu, T. Xu, and Z. Yao Analysis of linear internal stability for mixed traffic flow of connected and automated vehicles considering multiple influencing factors // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 592. 126876. 2023.
3. Q. Xu, C. Chen, X. Chang, D. Cao, M. Cai, J. Wang, K. Li, and J. Wang. Modeling and analysis of mixed traffic networks with human-driven and autonomous vehicles // *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 37. Article 134. 2024.

4. G. Hu, W. Lu, R.W. Whalin, F. Wang, T.A. Kwembe. Analytical approximation for macroscopic fundamental diagram of urban corridor with mixed human and connected and autonomous traffic // *Iet Intelligent Transport Systems*. 15. P. 261-272. 2020.
5. Yocum R., Gayah V.V. Coordinated perimeter flow and variable speed limit control for mixed freeway and urban networks // *Transportation Research Record*. P. 596-609. 2021.
6. Bilal M.T., Giglio D. Evaluation of macroscopic fundamental diagram characteristics for a quantified penetration rate of autonomous vehicles // *European Transport Research Review*. 15. P. 1-13. 2023.
7. Yao Z., Wu Y., Jiang Y, Ran B. Modeling the fundamental diagram of mixed traffic flow with dedicated lanes for connected automated vehicles // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 24. P. 6517-6529. 2023.
8. Huang Y., Ye Y., Sun J., Tian Y. Characterizing the Impact of Autonomous Vehicles on Macroscopic Fundamental Diagrams // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 24. 6530-6541. 2023.
9. Chen D., Ahn S., Chitturi M., Noyce D.A. Towards vehicle automation: Roadway capacity formulation for traffic mixed with regular and automated vehicles // *Transportation research part B: methodological*. Vol. 100. 2017. P.196-221.
10. Sala M., Soriguera F. Macroscopic modeling of connected autonomous vehicle platoons under mixed traffic conditions // *Transportation Research Procedia*. Vol. 47. 2020. P.163-170.
11. Whalin R., Hu G. Macroscopic Fundamental Diagram approach to traffic flow with autonomous/connected vehicles // *Jackson State University*, 2020.
12. Jiang H., Li Y., Jin Z., Zyryanov V. Digital traffic state analysis for urban regions considering complex multi-directional flow changes // *Ain Shams Engineering Journal*. Vol.15. 103124. 2024.
13. Jiang H., Zyryanov V. Application of Urban Road Network Traffic Flow State Analysis Algorithm Based on Macroscopic Fundamental Diagram // *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering)*. Vol. 46. 2022. P. 986-996.
14. Цзянг Х. Моделирование передвижения транспортных средств на основе макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока // *Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2022. Т. 16. №2. С. 22-28.
15. Цзянг Х. Оптимизация дорожного движения на основе макроскопической фундаментальной диаграммы в городской двухзональной системе // *Вестник СибАДИ*. 2022. №2 (84).

**Цзянг Хайянь**

Шандунский транспортный университет

Адрес: 250357, Китай, г. Цзинань, провинция Шаньдун, ул. Хайтан, №5001

К.т.н., преподаватель Института транспортной и логистической инженерии

E-mail: jiang.live.in.rus@mail.ru

**Ли Ицзя**

Шандунский транспортный университет

Адрес: 250357, Китай, г. Цзинань, провинция Шаньдун, ул. Хайтан, №5001

Д.т.н., доцент Института Аэронавтики

E-mail: 220160@sdjtu.edu.cn

**Дай Руижи**

Шандунский транспортный университет

Адрес: 250357, Китай, г. Цзинань, провинция Шаньдун, ул. Хайтан, №5001

Студент

E-mail: 2937425385@qq.com

**Вэй Юнцань**

Шандунский транспортный университет

Адрес: 250357, Китай, г. Цзинань, провинция Шаньдун, ул. Хайтан, №5001

Студент

E-mail: 1711986500@qq.com

---

H. JIANG, Y. LI, R. DAI, Y. WEI

**STUDY ON THE MECHANISMS OF CAV TRAFFIC FLOW IMPACT  
IN URBAN MULTI-REGION ENVIRONMENTS**

**Abstract.** This paper studies the macroscopic dynamic evolution of mixed traffic flow with an emphasis on the effects of interconnection between multiple urban zones. A macroscopic fundamental diagram (MFD) model is proposed, which integrates the characteristics of both connected and autonomous vehicles (CAVs) with human-driven vehicles (HDVs) into the traditional triangular MFD. The model accounts for differences in reaction times between CAVs and HDVs, as well as the topology of the urban road network and traffic signal control schemes. Numerical simulations were conducted on a 30 km real-world street network in Jinan, China, to assess the impact of various CAV penetration levels (0%, 20%, 40%) on traffic flow dynamics across different urban neighborhoods. The results demonstrate that at low levels of CAV penetration (0%-20%), mixed traffic flow shows reduced capacity compared to pure HDV traffic due to adaptation difficulties between CAVs and HDVs.

**Keywords:** macroscopic fundamental diagram, mixed traffic flow, urban transportation dynamics, interconnection effects

## BIBLIOGRAPHY

1. X. Li, X. Zhao, Y. Xiao, X. Ma, X. Wang. Modeling mixed traffic flows of human-driving vehicles and connected and autonomous vehicles considering human drivers' cognitive characteristics and driving behavior interaction // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. Vol. 609. 128368. 2023.
2. R. Luo, Q. Gu, T. Xu, and Z. Yao Analysis of linear internal stability for mixed traffic flow of connected and automated vehicles considering multiple influencing factors // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. Vol. 592. 126876. 2023.
3. Q. Xu, C. Chen, X. Chang, D. Cao, M. Cai, J. Wang, K. Li, and J. Wang. Modeling and analysis of mixed traffic networks with human-driven and autonomous vehicles // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 37. Article 134. 2024.
4. G. Hu, W. Lu, R.W. Whalin, F. Wang, T.A. Kwembe. Analytical approximation for macroscopic fundamental diagram of urban corridor with mixed human and connected and autonomous traffic // Iet Intelligent Transport Systems. 15. R. 261-272. 2020.
5. Yocum R., Gayah V.V. Coordinated perimeter flow and variable speed limit control for mixed freeway and urban networks // Transportation Research Record. R. 596-609. 2021.
6. Bilal M.T., Giglio D. Evaluation of macroscopic fundamental diagram characteristics for a quantified penetration rate of autonomous vehicles // European Transport Research Review. 15. R. 1-13. 2023.
7. Yao Z., Wu Y., Jiang Y., Ran B. Modeling the fundamental diagram of mixed traffic flow with dedicated lanes for connected automated vehicles // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Vol. 24. R. 6517-6529. 2023.
8. Huang Y., Ye Y., Sun J., Tian Y. Characterizing the Impact of Autonomous Vehicles on Macroscopic Fundamental Diagrams // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Vol. 24. 6530-6541. 2023.
9. Chen D., Ahn S., Chitturi M., Noyce D.A. Towards vehicle automation: Roadway capacity formulation for traffic mixed with regular and automated vehicles // Transportation research part B: methodological. Vol. 100. 2017. P.196-221.
10. Sala M., Soriguera F. Macroscopic modeling of connected autonomous vehicle platoons under mixed traffic conditions // Transportation Research Procedia. Vol. 47. 2020. R.163-170.
11. Whalin R., Hu G. Macroscopic Fundamental Diagram approach to traffic flow with autonomous/connected vehicles // Jackson State University, 2020.
12. Jiang H., Li Y., Jin Z., Zyryanov V. Digital traffic state analysis for urban regions considering complex multi-directional flow changes // Ain Shams Engineering Journal. Vol.15. 103124. 2024.
13. Jiang H., Zyryanov V. Application of Urban Road Network Traffic Flow State Analysis Algorithm Based on Macroscopic Fundamental Diagram // Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering). Vol. 46. 2022. R. 986-996.
14. TSzyang H. Modelirovanie peredvizheniya transportnykh sredstv na osnove makroskopicheskoy fundamental'noy diagrammy transportnogo potoka // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2022. T. 16. №2. S. 22-28.
15. TSzyang H. Optimizatsiya dorozhnogo dvizheniya na osnove makroskopicheskoy fundamental'noy diagrammy v gorodskoy dvukhzonal'noy sisteme // Vestnik SibADI. 2022. №2 (84).

### Jiang Haiyan

Shandong Jiaotong University  
Address: 250357, China, Jinan, Shandong Province  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: jiang.live.in.rus@mail.ru

### Dai Ruizhi

Shandong Jiaotong University  
Address: 250357, China, Jinan, Shandong Province  
Student  
E-mail: 2937425385@qq.com

### Li Yijia

Shandong Jiaotong University  
Address: 250357, China, Jinan, Shandong Province  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: 220160@sdjtu.edu.cn

### Wei Yongcan

Shandong Jiaotong University  
Address: 250357, China, Jinan, Shandong Province  
Student  
E-mail: 1711986500@qq.com

УДК 658.78:004.72

doi:10.33979/2073-7432-2025-3-3(90)-134-143

С. ДЖОВАНИС, В.И. САРБАЕВ, А.С. ГРИШИН

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ (RFID, IOT) В АВТОСЕРВИСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ КИПР**

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию перспектив использования современных технологий радиочастотной идентификации (RFID) и Интернета вещей (IoT) для оптимизации управления запасами в автосервисных предприятиях Республики Кипр. Проанализированы преимущества, ограничения и экономическая эффективность внедрения данных технологий. Разработаны практические рекомендации по реализации проектов автоматизации складского учета на базе RFID и IoT в автосервисах. Результаты исследования показывают, что применение RFID и IoT позволяет существенно повысить эффективность логистических процессов, сократить издержки, улучшить качество обслуживания клиентов и укрепить конкурентные позиции предприятий на рынке.*

***Ключевые слова:** RFID, IoT, управление запасами, автоматизация, складской учет, логистика, автосервисные предприятия, Республика Кипр*

### **Введение**

В современных условиях динамичного развития рыночной экономики и обострения конкурентной борьбы автосервисные предприятия Республики Кипр сталкиваются с необходимостью постоянного совершенствования своих бизнес-процессов с целью повышения эффективности функционирования и обеспечения высокого качества предоставляемых услуг. Одним из ключевых направлений оптимизации деятельности автосервисов является внедрение передовых технологий управления запасами, позволяющих минимизировать издержки, связанные с хранением и перемещением товарно-материальных ценностей, обеспечивающих бесперебойность и своевременность выполнения ремонтных работ за счет наличия необходимых запасных частей и расходных материалов.

Целью данного исследования является изучение возможностей и перспектив применения таких современных технологий управления запасами, как радиочастотная идентификация (RFID) и Интернет вещей (IoT), в автосервисных предприятиях Республики Кипр. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: анализ текущего состояния и особенностей функционирования автосервисной отрасли Республики Кипр; исследование ключевых характеристик, преимуществ и ограничений технологий RFID и IoT применительно к управлению запасами; оценка экономической эффективности внедрения данных технологий в автосервисных предприятиях; разработка практических рекомендаций по реализации проектов автоматизации складского учета на базе RFID и IoT.

### **Материал и методы**

Теоретико-методологическую основу исследования составили фундаментальные положения логистики и управления цепями поставок, научные труды отечественных и зарубежных ученых в области применения информационных технологий в управлении запасами, материалы специализированных периодических изданий. В процессе работы использовались такие общенаучные методы, как анализ и синтез, индукция и дедукция, обобщение, сравнение, классификация, а также методы экономико-математического моделирования и экспертных оценок.

Информационную базу исследования составили данные Статистической службы Республики Кипр, аналитические отчеты Министерства энергетики, торговли и промышленности, результаты опросов представителей автосервисных предприятий, публикации в отраслевых изданиях и сети Интернет.

Технология RFID представляет собой метод автоматической бесконтактной идентификации объектов посредством радиосигналов. Система RFID состоит из считывающего устройства (ридера) и специальных меток (тегов), которые крепятся на товары или объекты инфраструктуры. Каждая метка содержит уникальный идентификационный номер и может также включать дополнительную информацию об объекте (наименование, серийный номер, дату производства, срок годности и т.д.). Ридер генерирует электромагнитное поле определенной частоты, которое активирует метку, считывает хранящуюся в ней информацию и передает ее в информационную систему предприятия для дальнейшей обработки.

Ключевыми преимуществами RFID по сравнению с традиционными технологиями штрихового кодирования являются возможность автоматического считывания множества меток одновременно без необходимости прямой видимости, высокая скорость и точность идентификации, устойчивость меток к внешним воздействиям, возможность перезаписи данных. Это позволяет существенно повысить эффективность процессов приемки, инвентаризации, комплектации и отгрузки товаров на складе, сократить влияние человеческого фактора и обеспечить актуальность данных о наличии и движении запасов в режиме реального времени [12, 13].

Кроме того, технология RFID позволяет организовать эффективную защиту товаров от краж и несанкционированного выноса с территории склада за счет установки специальных считывателей на выходах и входных воротах [14].

Интернет вещей (IoT) представляет собой концепцию вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой [1, 9]. В контексте управления запасами IoT позволяет организовать всеобъемлющий мониторинг и координацию логистических процессов за счет интеграции данных, поступающих от различных устройств и датчиков – RFID-меток, сканеров штрихкодов, сенсоров температуры, влажности, освещенности, систем позиционирования и т.д. [5, 6]. Это дает возможность в автоматическом режиме отслеживать местоположение и состояние товаров, контролировать условия их хранения и транспортировки, оперативно выявлять отклонения и сбои в цепи поставок [2, 4].

IoT также открывает возможности для предиктивного обслуживания оборудования и инфраструктуры склада за счет удаленного мониторинга их состояния с помощью датчиков и своевременного выявления потенциальных неисправностей.

Комплексное использование технологий RFID и IoT открывает качественно новые возможности для оптимизации процессов управления запасами в автосервисных предприятиях.

### ***Расчет***

На основании полученных данных о фактическом расходе запчастей в автосервисах Республики Кипр проведен анализ, подтверждающий актуальность и эффективность внедрения современных технологий управления запасами.

С 2021 по 2023 гг. наблюдалась устойчивая тенденция роста среднего дневного расхода запасных частей для ряда ключевых позиций. Например, расход тормозных колодок Toyota (04465-12090) в начале 2021 г. в среднем составлял порядка 15-20 ед. в день, а к концу 2023 г. достигал и превышал 30 ед., что может свидетельствовать о росте обслуживаемого автомобильного парка и увеличении клиентской базы. Аналогичную закономерность показали ступицы Honda (42200-S5A-008), спрос на которые вырос с 2-3 шт. до 7-8 шт. в день, а в отдельные периоды - до 10 и более. При этом датчики кислорода Toyota (89465-12670) и ремни ГРМ Honda (14400-PLM-A01) отличались более стабильным и равномерным расходом на уровне 1-2 шт., что облегчает прогнозирование и планирование запасов для данных позиций.

Также прослеживаются резкие скачки потребления перед праздниками или в конце года, когда расход, например, тех же тормозных колодок Toyota может за один день достичь



30–33 ед. и спровоцировать угрозу дефицита при несвоевременном пополнении склада. Сезонные и календарные факторы (новогодние каникулы, летние отпуска) регулярно приводят к временным просадкам в спросе и отсутствию заказов в отдельные даты, что требует гибкого подхода к объёмам закупок и хранению на складе.

На рисунке 1 приведен представлена динамика изменения среднего дневного расхода некоторых ключевых позиций автозапчастей (тормозные колодки Toyota 04465-12090 и ступицы Honda 42200-S5A-008) с 2021 по 2023 гг. Данные основаны на описанных в тексте исследования тенденциях.

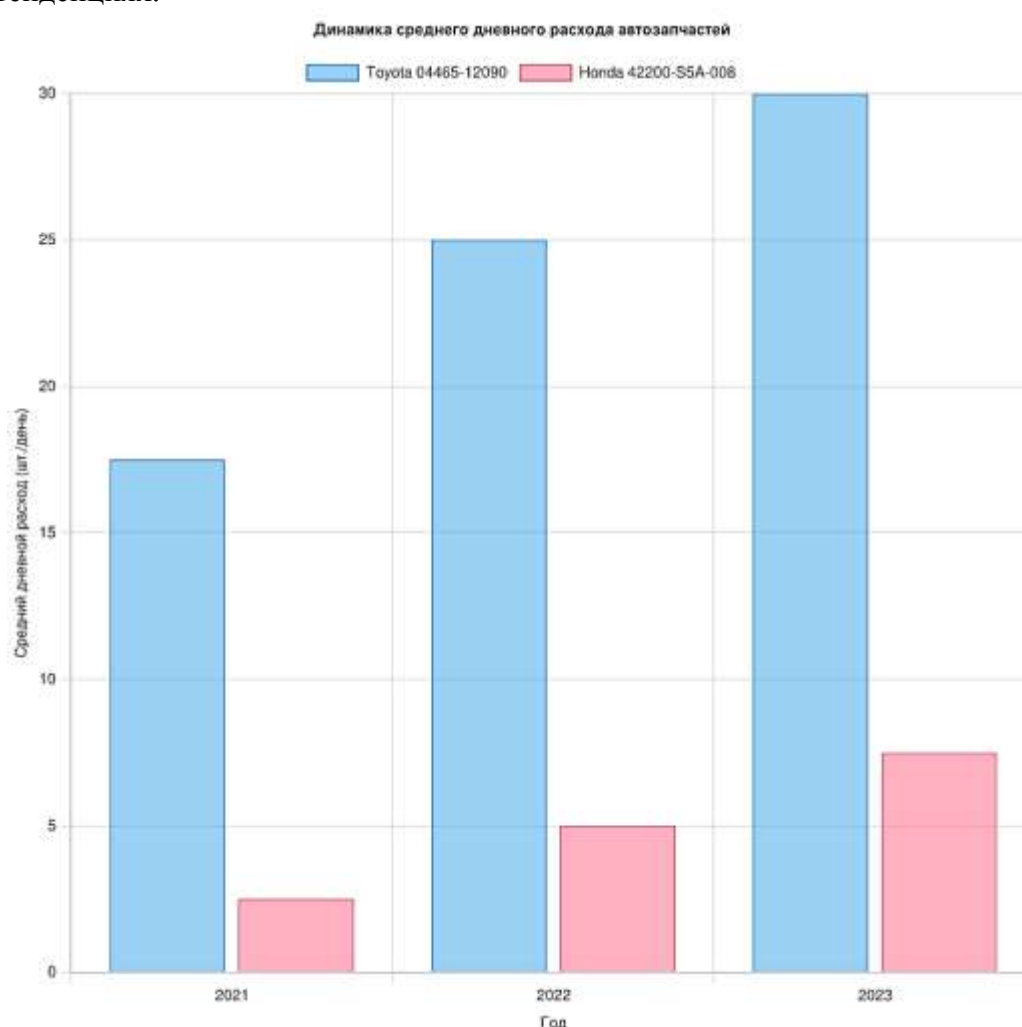


Рисунок 1 - Средний дневной расход некоторых позиций автозапчастей (тормозные колодки Toyota 04465-12090 и ступицы Honda 42200-S5A-008) с 2021 по 2023 гг.

Объяснения к диаграмме:

- По оси ординат (вертикальной) отложены условные значения среднего расхода запчастей (ед./день).
- «Столбики» Toyota (примерно от 15-20 до 30) существенно поднимаются к 2023 г.
- «Столбики» Honda (от 2-3 шт. до 7-8) также заметно растут, хотя абсолютные объемы ниже.

Приведенная диаграмма демонстрирует главную тенденцию: наиболее ходовые запчасти (тормозные колодки и ступицы) показывают явный рост спроса, а значит, требуют пристального контроля запасов и оперативного пополнения склада.

Анализ показал, что наиболее востребованные запчасти (тормозные колодки, ступицы, элементы топливных насосов) нуждаются в постоянном мониторинге для предотвращения риска «простаивания» сервисного оборудования и потери клиентов из-за отсутствия хо-

довых деталей. С другой стороны, некоторые позиции (датчики, ремни, редкие детали) можно держать на складе в меньшем количестве, учитывая их регулярный, но относительно невысокий расход.

Регулярная актуализация остатков с помощью RFID и IoT и подключение методов прогнозирования (например, ARIMA, LSTM) позволяют формировать более точные заказы.

Использование методов машинного обучения (LSTM, градиентный бустинг) в сочетании с классическими подходами (ARIMA, модель Хольта-Винтерса) расширяет возможности учёта сезонности, одномоментных пиков, влияния погоды и маркетинговых акций. Практическое внедрение такой комбинированной системы на базе RFID/IoT в типичном автосервисе может значительно сократить складские и логистические издержки, предотвратить дефицит позиций в периоды резкого всплеска спроса и положительно сказаться на удовлетворённости клиентов. По предварительным расчётам, экономический эффект достигает 10-15% годового снижения затрат за счёт оптимизации закупок и хранения, а также ускорения оборачиваемости запасов [8, 10, 11].

При этом необходимо учитывать и организационные аспекты: корректную интеграцию новой системы с существующей ERP, обучение персонала и выстраивание распорядка обслуживания. Однако собранные фактические данные наглядно демонстрируют, как автоматический учёт, RFID-метки, онлайн-слежение за остатками и использования IoT-сенсоров помогают в режиме реального времени отслеживать расход и складские движения, вовремя устанавливать «сигнальный уровень» и формировать заявки поставщикам. Всё это позволяет автосервисам Республики Кипр более эффективно реагировать на меняющиеся рыночные условия и соблюдать высокие стандарты качества обслуживания клиентов.

Составим сводную таблицу 1, отражающую ключевые изменения показателей после внедрения RFID- и IoT-решений на складе автосервисного предприятия (по данным пилотного проекта в городе Ларнака, Республика Кипр).

Таблица 1 - Влияние внедрения RFID и IoT технологий на складскую логистику (пилотный проект в Ларнаке)

Показатель	До внедрения технологий	После внедрения технологий (пилот Ларнака)	Изменение / Эффект
1. Время на поиск и комплектацию запчастей	30-40 минут/заказ	25-35 минут/заказ	Сокращение времени на 10-12% (ускорение процессов, повышение пропускной способности)
2. Уровень ошибок инвентаризации	5-7%	2-3%	Сокращение ошибок на 40% (автоматизация данных, устранение человеческого фактора)
3. Процент внезапного дефицита (Out-of-Stock)	18% (годовая статистика)	7% (3-месячный пилот)	Сокращение дефицита почти в 2,5 раза (улучшенное прогнозирование, своевременные заявки поставщикам)
4. Общие затраты на складскую логистику	Базовый уровень (100%)	Снижение на 8-10% (учитывая обслуживание RFID/IoT)	Оптимизация процессов, сокращение потерь, более точная инвентаризация, снижение краж
5. Срок окупаемости проекта (ROI)	Не реализован	2-3 года	Ожидается окупаемость за 2-3 года за счёт 10-15% снижения годовых затрат и увеличения оборота.

В представленных данных отражены как прямые эффекты от внедрения (сокращение ошибок инвентаризации, уменьшение времени на обслуживание склада), так и косвенные (снижение риска краж и внезапного дефицита запчастей за счёт непрерывного онлайн-контроля). Такая комплексная автоматизация даёт автосервисным предприятиям Республики Кипр ощутимые преимущественные результаты, повышая конкурентоспособность и удовлетворённость клиентов.

Результаты проведенного исследования показали, что внедрение данных технологий в автосервисах Республики Кипр позволяет получить ряд значимых эффектов:

1) сокращение времени и трудоемкости складских операций. Автоматизация процессов идентификации и учета запасных частей и материалов с помощью RFID обеспечивает возможность быстрой и безошибочной инвентаризации, упрощает поиск и комплектацию необходимых товаров, минимизирует затраты ручного труда;

2) повышение точности и актуальности информации о запасах. Использование IoT-решений для сбора данных о движении и состоянии товаров в режиме реального времени исключает ошибки, связанные с человеческим фактором, и гарантирует наличие в информационной системе предприятия достоверных и своевременных сведений, необходимых для принятия обоснованных управленческих решений;

3) предотвращение потерь и хищений. Постоянный автоматический контроль местонахождения товаров с помощью RFID и отслеживание условий их хранения на базе IoT-сенсоров позволяют вовремя выявлять и пресекать факты недостач, порчи и несанкционированного выноса запасных частей и материалов, тем самым сокращая потери автосервисного предприятия;

4) оптимизация закупочной деятельности. Наличие точной информации об остатках и динамике потребления товаров дает возможность использовать современные методы прогнозирования спроса и планирования закупок, избегать затоваривания склада или дефицита запчастей, минимизировать суммарные затраты на приобретение и хранение запасов;

5) улучшение качества обслуживания клиентов. Сокращение времени поиска и подбора необходимых для ремонта запчастей и материалов, обусловленное применением средств автоматической идентификации, ускоряет выполнение заказов и положительно влияет на удовлетворенность клиентов. Кроме того, актуальные данные о наличии запасов, получаемые с помощью IoT, позволяют предоставлять клиентам более точную информацию о сроках выполнения работ;

6) повышение безопасности и улучшение условий труда на складе. IoT-решения позволяют контролировать перемещение погрузчиков и другой складской техники, отслеживать их техническое состояние, выявлять опасное вождение, тем самым снижая риски аварий и травматизма персонала. Датчики температуры, влажности и освещенности помогают поддерживать нормативные условия труда на складе.

Вместе с тем, реализация проектов по внедрению RFID и IoT в автосервисных предприятиях Республики Кипр сопряжена с определенными сложностями и ограничениями. К их числу относятся высокая стоимость оборудования и программного обеспечения, необходимость обучения и переквалификации персонала, потребность в интеграции новых технологий с существующими корпоративными системами, необходимость обеспечения информационной безопасности. Использование беспроводных технологий передачи данных повышает риски несанкционированного доступа, перехвата и искажения информации. Требуется внедрение надежных систем защиты, шифрования и аутентификации для предотвращения утечек конфиденциальных сведений [15-17].

Преодоление данных барьеров требует тщательной подготовки и проработки соответствующих инвестиционных проектов, а также государственной поддержки инновационной активности предприятий [18].

Проведенный экономический анализ показал, что инвестиции во внедрение комплексных решений автоматизации складского учета на базе RFID и IoT в типичном автосервисном предприятии Республики Кипр окупаются в среднем за 2-3 года. При этом ожидаемый экономический эффект за счет сокращения складских и логистических издержек, уменьшения потерь, повышения оборачиваемости запасов и роста продаж услуг составляет порядка 10-15% в год.

Следует отметить, что общий бюджет на реализацию RFID/IoT-проекта напрямую зависит от масштабов автосервисного предприятия и охватывает несколько основных статей расходов. Так, при средних объемах склада и потоке клиентов затраты на базовый комплект RFID-оборудования (стационарные ридеры, переносные сканеры, антенны, а также RFID-метки и необходимые аксессуары) могут составлять порядка 3-5 тыс. евро. Лицензионные расходы на программное обеспечение, в том числе модули аналитики и интеграцию с корпоративной ERP-системой, нередко колеблются в диапазоне 2-4 тыс. евро. Дополнительно следует учесть затраты на ИТ-инфраструктуру (серверы, сетевое оборудование, защищенные каналы передачи данных для IoT), которые в типичном случае могут достигать 1-2 тыс. евро. Существенной статьёй бюджета становится обучение персонала при переходе на новые тех-

нологии (около 1-1,5 тыс. евро), а также постоянное техническое сопровождение и поддержку - обычно 5-15% от стоимости проекта в год.

Таким образом, полная стоимость внедрения комплексного решения может варьироваться от 7-8 тыс. евро (минимальный набор оборудования и ПО) до 15-20 тыс. евро (более масштабные проекты с расширенным функционалом), однако эти вложения, по оценкам, окупаются в течение 2-3 лет за счёт снижения складских издержек, уменьшения потерь, роста пропускной способности и увеличения объёмов продаж сервисных услуг.

В целях успешной реализации проектов внедрения RFID и IoT в автосервисных предприятиях Республики Кипр рекомендуется:

- 1) провести комплексное обследование складского хозяйства и логистических процессов предприятия, определить узкие места и приоритетные направления автоматизации;
- 2) разработать технико-экономическое обоснование проекта внедрения RFID и IoT с учетом специфики конкретного предприятия и ожидаемых эффектов;
- 3) выбрать надежного поставщика аппаратных и программных решений, имеющего опыт реализации подобных проектов в автосервисной отрасли;
- 4) обеспечить необходимую подготовку и обучение персонала для работы с новыми технологиями, провести разъяснительную работу о целях и ожидаемых результатах проекта;
- 5) организовать опытную эксплуатацию системы в одном из подразделений с целью отладки технологических и бизнес-процессов перед ее масштабированием на все предприятие;
- 6) обеспечить интеграцию решений автоматизации складского учета с корпоративными информационными системами управления ресурсами предприятия;
- 7) осуществлять непрерывный мониторинг функционирования системы, оперативно выявлять и устранять сбои и отклонения, проводить регулярную оценку достигаемых результатов;
- 8) обеспечить регулярное техническое обслуживание и своевременную замену элементов питания RFID-меток и IoT-устройств для бесперебойной работы системы.

#### ***Результаты и обсуждение***

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о высокой перспективности применения современных технологий RFID и IoT для повышения эффективности управления запасами в автосервисных предприятиях Республики Кипр. Внедрение данных технологий позволяет оптимизировать логистические процессы, сократить издержки, минимизировать потери, повысить качество обслуживания клиентов и обеспечить рост конкурентоспособности автосервисов в долгосрочной перспективе. Вместе с тем, реализация проектов автоматизации складского учета требует значительных инвестиций и тщательной проработки организационно-экономических аспектов, что обуславливает необходимость дальнейших исследований в данном направлении.

На основании сделанных выводов предлагается внедрение «цифрового двойника» склада на базе RFID и IoT. Прежде всего необходимо отметить, что «цифровой двойник» склада представляет собой детализированную виртуальную копию складских процессов, где в режиме реального времени идёт обмен данными между системой и установленным на складе оборудованием; к такому оборудованию относятся RFID-ридеры, IoT-сенсоры, системы позиционирования и другие устройства, обеспечивающие бесперебойный сбор и передачу информации о запасах. Подобная модель, синхронно отображающая состояние склада, даёт возможность «плясать» от актуальных сведений о товарах, прогнозировать вероятность дефицита ходовых позиций, своевременно выявлять узкие места логистических потоков и формировать более точные заказы поставщикам [3].

Для автосервисных предприятий Республики Кипр была проведена пилотная апробация указанного подхода в городе Ларнака. Экспериментальные наблюдения охватывали трёхмесячный период и включали использование RFID-меток на ключевых группах запчастей высокой востребованности, установку стационарных ридеров на входе и выходе складских зон и интеграцию IoT-сенсоров, контролирующих температуру, влажность и контролируемые параметры движения техники внутри склада. Результаты этого пилотного проекта показывают, что время на поиск и комплектацию наиболее популярных запчастей сократилось приблизительно на двенадцать процентов за счёт онлайн-отслеживания их текущего ме-

стоположения. Общее количество ошибок, связанных с учётом остатков, уменьшилось почти на сорок процентов, поскольку фиксация каждой операции перемещения запчастей теперь происходит автоматически. Кроме того, доля непредвиденных ситуаций, когда нужных деталей внезапно не оказывалось на складе, снизилась с восемнадцати до семи процентов, так как система начинает заранее сигнализировать о критическом снижении запасов. Параллельно наблюдалось снижение общих затрат на складскую логистику примерно на восемь процентов, что подтверждает целесообразность дальнейшего масштабирования данного решения на другие центры автосервиса.

Помимо экономических и организационных выгод, заметным оказался положительный эффект от использования методов прогнозирования спроса, основанных на алгоритмах машинного обучения. При совмещении классического статистического подхода (ARIMA) с нейронными сетями (LSTM) уменьшилась ошибка в оценке сезонных колебаний на двадцать – двадцать пять процентов по сравнению с простой линейной экстраполяцией. Такой результат наиболее наглядно продемонстрировал спрос на тормозные колодки Toyota, где показатели расхода традиционно растут в преддверии праздников и в высокий туристический сезон.

В долгосрочной перспективе дальнейшее развитие концепции «цифрового двойника» в сфере автосервисных услуг может основываться на расширении числа анализируемых параметров и масштабировании единой цифровой модели на несколько складских площадок. Подобная комплексная интеграция предполагает более тесную связь с блокчейн-платформами в целях повышения прозрачности цепей поставок и, кроме того, открывает дорогу для внедрения технологий дополненной реальности, которые могут ускорить ориентацию работников склада и ещё более уменьшить временные издержки при поиске необходимых запчастей. Таким образом, сочетание «цифрового двойника» и технологий RFID/IoT становится инновационным способом управления запасами, создающим значительные конкурентные преимущества и повышающим уровень обслуживания клиентов на рынке автосервисных услуг Республики Кипр.

В мировой практике можно выделить по крайней мере три основные формы использования RFID и IoT-технологий, демонстрирующие эффективность в различных отраслях:

- розничная торговля и борьба с потерями. В супермаркетах и магазинах одежды RFID-метки активно применяются для автоматической идентификации и учёта товаров, а также для снижения краж и несанкционированного выноса продукции. Например, технологии «умной примерочной» [17] позволяют в реальном времени отслеживать, какие вещи покупатели берут с собой, ускоряют процесс поиска нужных размеров и повышают удобство обслуживания;

- производство и складская логистика. Ведущие международные автопроизводители и предприятия высокотехнологичной промышленности внедряют RFID и IoT для отслеживания компонент на производственных линиях и оптимизации складских операций. Такие решения позволяют в автоматическом режиме идентифицировать детали, контролировать время нахождения продукции на каждом этапе сборки, управлять запасами, избегая затоваривания или простоев [14, 16];

- предиктивное обслуживание и отдалённый мониторинг. Датчики, подключённые к IoT-сети, обеспечивают сбор данных о состоянии оборудования и инфраструктуры. Это даёт возможность обнаруживать потенциальные неисправности до их критического проявления, своевременно проводить ремонт, сокращая простои и снижая эксплуатационные издержки [15].

Опыт зарубежных компаний показывает, что использование RFID и IoT не ограничивается только операционным учётом — технологии встраиваются в бизнес-модели предприятий, способствуя повышению прозрачности цепей поставок и более точному прогнозированию спроса. В частности, ритейлеры в европейских странах активно применяют комплексные RFID-системы для координации товарных потоков в распределительных центрах и увеличения точности данных о остатках, что позитивно отражается на конкурентоспособности компаний [14]. Одновременно интеграция IoT-сенсоров с аналитическими модулями машинного обучения позволяет не только контролировать текущее состояние складских запасов, но и моделировать будущие колебания спроса, формируя оптимальные закупочные партии. Та-

кой подход выстраивает более гибкие логистические цепочки, снижает риск ошибок, связанных с человеческим фактором, и повышает качество обслуживания конечных клиентов.

Для наглядной демонстрации взаимосвязи и ключевых преимуществ RFID и IoT в управлении складскими процессами разработано схематическое изображение, отражающее основные элементы системы (RFID-ридеры, метки, IoT-сенсоры, серверы и т.д.), а также задачи, которые решаются при помощи данных технологий (рис. 2).

### Улучшение складских операций с помощью RFID и IoT



Рисунок 2 - Улучшение складских операций с помощью RFID и IoT

Подобная наглядная схема позволяет быстрее понять суть взаимодействия RFID и IoT, раскрыть ключевые задачи и результаты использования данных технологий в условиях автосервисного предприятия, а также подчеркнуть тесную взаимосвязь информатики, складской логистики и бизнес-аналитики, лежащую в основе успешной цифровизации отрасли.

### Выводы

Применение современных технологий автоматической идентификации RFID и сетевого взаимодействия устройств IoT открывает новые возможности для повышения эффективности и прозрачности процессов управления запасами в автосервисных предприятиях Республики Кипр. Внедрение данных решений позволяет оптимизировать складские операции, сократить издержки хранения, минимизировать влияние человеческого фактора, обеспечить актуальность и доступность информации о наличии и движении запасных частей и материалов.

Вместе с тем, практическая реализация проектов комплексной автоматизации складского учета на базе RFID и IoT требует тщательной подготовки и обоснования с учетом специфики конкретного предприятия, значительных первоначальных инвестиций, интеграции с корпоративными информационными системами, обучения персонала. Преодоление данных вызовов при поддержке государственных программ цифровизации экономики позволит вывести процессы послепродажного обслуживания автомобилей в Республике Кипр на качественно новый уровень, повысить конкурентоспособность автосервисных предприятий как на внутреннем, так и на международном рынке.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багриновский К.А., Конник Т.И., Левинсон М.Р. Имитационные системы принятия экономических решений. М.: Наука, 2019. 165 с.

2. Бродецкий Г.Л. Системный анализ в логистике. Выбор в условиях неопределенности: Учебник для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2019. 215 с.
3. Власов А.И., Фролов Е.Б. Анализ использования RFID-технологии в различных отраслях экономики // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. 2021. №2(30). С. 15-24. EDN XQXMHG.
4. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник. 21-е изд. М.: Дашков и К°, 2021. 419 с.
5. Григорьев М.Н., Уваров С.А. Логистика. Базовый курс: Учебник. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2022. 208 с. DOI 10.17513/Lan.188.5.1.
6. Дыбская В.В., Зайцев Е.И., Сергеев В.И., Стерлигова А.Н. Логистика: интеграция и оптимизация логистических бизнес-процессов в цепях поставок / под ред. В.И. Сергеева. М.: Эксмо, 2021. 944 с.
7. Дьяченко Е.А., Колобов А.Н. Методы и модели управления запасами в цепях поставок: учебное пособие. СПб.: Политехн. ун-т, 2019. 217 с.
8. Еловой И.А., Лебедева И.А. Интегрированные логистические системы доставки ресурсов: (теория, методология, организация). Минск: Право и экономика, 2019. 460 с.
9. Лукинский В.В. Актуальные проблемы формирования теории управления запасами: Монография. СПб.: СПбГИЭУ, 2018. 213 с.
10. Лукинский В.С., Лукинский В.В., Плетнева Н.Г. Модели и методы теории логистики: Учебное пособие. 2-е изд. СПб.: Питер, 2020. 448 с. DOI 10.17513/Lan.186.8.4.
11. Просветов Г.И. Математические методы в логистике: задачи и решения: Учебно-практическое пособие. 2-е изд., доп. М.: Альфа-Пресс, 2020. 304 с.
12. Сергеев В.И. Управление цепями поставок: Учебник для бакалавров и магистров. М.: Юрайт, 2022. 480 с. DOI 10.17513/Lan.184.6.2.
13. Стерлигова А.Н. Управление запасами в цепях поставок: учебник. М.: ИНФРА-М, 2021. 430 с. DOI 10.12737/1022710.
14. Bach M.P., Zoroja J., Loupis M. RFID usage in European enterprises and its relation to competitiveness: Cluster analysis approach // International Journal of Engineering Business Management. 2016. Т. 8. С. 1847979016685093.
15. Chatzichristodoulou D. et al. Additive manufacturing techniques for 5G IoT antennas and sensors // 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). IEEE., 2021. С. 1-5.
16. Chnina K. Failure Modes and Effects Analysis Method Based on Data Envelopment Analysis Approach for the Efficiency Measurment of Radio Frequency Identification. Eastern Mediterranean University-Doğu Akdeniz Üniversitesi, 2020.
17. Lazarou M. Smart fitting room: applying IoT in retail environments. Department of Communication and Internet Studies, Faculty of Communication and Media Studies, Cyprus University of Technology, 2020.
18. Nadeem A. et al. UHF IoT humidity and temperature sensor for smart agriculture applications powered from an energy harvesting system // IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (Io-TaIS). 2022. С. 186-190.

**Джованис Симос**

Московский политехнический университет  
Адрес: 107023, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, 38  
Аспирант  
E-mail: singmanos@yahoo.com

**Сарбаев Владимир Иванович**

Московский политехнический университет  
Адрес: 107023, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, 38  
Д.т.н., профессор  
E-mail: visarbaev@gmail.com

**Гришин Александр Сергеевич**

Московский политехнический университет  
Адрес: 107023, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, 38  
К.т.н., докторант  
E-mail: agrishin@toyotabc.ru

---

S. TZJOVANNISS, V.I. SARBAEV, A.S. GRISHIN

## **THE USE OF MODERN INVENTORY MANAGEMENT TECHNOLOGIES (RFID, IoT) IN CAR SERVICE ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF CYPRUS**

**Abstract.** The article is devoted to the study of prospects for using modern radio frequency identification (RFID) and Internet of Things (IoT) technologies to optimize inventory management in car service enterprises of the Republic of Cyprus. The advantages, limitations and economic efficiency of implementing these technologies are analyzed. Practical recommendations for the implementation of

*warehouse accounting automation projects based on RFID and IoT in car services are developed. The results of the study show that the use of RFID and IoT can significantly improve the efficiency of logistics processes, reduce costs, improve the quality of customer service and strengthen the competitive position of enterprises in the market.*

**Keywords:** *RFID, IoT, inventory management, automation, warehouse accounting, logistics, car service enterprises, Republic of Cyprus*

## BIBLIOGRAPHY

1. Bagrinovskiy K.A., Konnik T.I., Levinson M.R. Imitatsionnye sistemy prinyatiya ekonomicheskikh resheniy. M.: Nauka, 2019. 165 s.
2. Brodetskiy G.L. Sistemnyy analiz v logistike. Vybory v usloviyakh neopredelennosti: Uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata. M.: YUrayt, 2019. 215 s.
3. Vlasov A.I., Frolov E.B. Analiz ispol'zovaniya RFID-tehnologii v razlichnykh otraslyakh ekonomiki // Aktual'nye problemy ekonomiki i menedzhmenta. 2021. №2(30). S. 15-24. EDN XQXMHG.
4. Gadzhinskiy A.M. Logistika: Uchebnik. 21-e izd. M.: Dashkov i K<sup>o</sup>, 2021. 419 s.
5. Grigor'ev M.N., Uvarov S.A. Logistika. Bazovyy kurs: Uchebnik. 2-e izd., ispr. i dop. M.: YUrayt, 2022. 208 s. DOI 10.17513/Lan.188.5.1.
6. Dybskaya V.V., Zaytsev E.I., Sergeev V.I., Sterligova A.N. Logistika: integratsiya i optimizatsiya logisticheskikh biznes-protsessov v tsepyakh postavok / pod red. V.I. Sergeeva. M.: Eksmo, 2021. 944 s.
7. D'yachenko E.A., Kolobov A.N. Metody i modeli upravleniya zapasami v tsepyakh postavok: uchebnoe posobie. SPb.: Politekh. un-t, 2019. 217 s.
8. Elovoy I.A., Lebedeva I.A. Integrirovannyye logisticheskiye sistemy dostavki resursov: (teoriya, metodologiya, organizatsiya). Minsk: Pravo i ekonomika, 2019. 460 s.
9. Lukinskiy V.V. Aktual'nye problemy formirovaniya teorii upravleniya zapasami: Monografiya. SPb.: SPbGIEU, 2018. 213 s.
10. Lukinskiy V.S., Lukinskiy V.V., Pletneva N.G. Modeli i metody teorii logistiki: Uchebnoe posobie. 2-e izd. SPb.: Piter, 2020. 448 s. DOI 10.17513/Lan.186.8.4.
11. Prosvetov G.I. Matematicheskiye metody v logistike: zadachi i resheniya: Uchebno-prakticheskoe posobie. 2-e izd., dop. M.: Al'fa-Press, 2020. 304 s.
12. Sergeev V.I. Upravlenie tsepyami postavok: Uchebnik dlya bakalavrov i magistrrov. M.: YUrayt, 2022. 480 s. DOI 10.17513/Lan.184.6.2.
13. Sterligova A.N. Upravlenie zapasami v tsepyakh postavok: uchebnik. M.: INFRA-M, 2021. 430 s. DOI 10.12737/1022710.
14. Bach M.P., Zoroja J., Loupis M. RFID usage in European enterprises and its relation to competitiveness: Cluster analysis approach // International Journal of Engineering Business Management. 2016. T. 8. S. 1847979016685093.
15. Chatzichristodoulou D. et al. Additive manufacturing techniques for 5G IoT antennas and sensors // 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). IEEE., 2021. S. 1-5.
16. Chnina K. Failure Modes and Effects Analysis Method Based on Data Envelopment Analysis Approach for the Efficiency Measurement of Radio Frequency Identification. Eastern Mediterranean University-Dou Akdeniz niversitesi, 2020.
17. Lazarou M. Smart fitting room: applying IoT in retail environments. Department of Communication and Internet Studies, Faculty of Communication and Media Studies, Cyprus University of Technology, 2020.
18. Nadeem A. et al. UHF IoT humidity and temperature sensor for smart agriculture applications powered from an energy harvesting system // IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (Io-TaIS). 2022. S. 186-190.

### **Tzjovanniss Simos**

Moscow Polytechnic University  
Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38  
Postgraduate student  
E-mail: singmanos@yahoo.com

### **Grishin Aleksandr Sergeevich**

Moscow Polytechnic University  
Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: agrishin@toyotabc.ru

### **Sarbaev Vladimir Ivanovich**

Moscow Polytechnic University  
Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: visarbaev@gmail.com



**Уважаемые авторы!**  
**Просим Вас ознакомиться с требованиями**  
**к оформлению научных статей.**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70 %), не опубликованным ранее в других печатных изданиях.
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

**Введение**

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

**Материал и методы**

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылаетесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

**Теория / расчет**

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

**Результаты**

Результаты должны быть четкими и краткими.

**Обсуждение**

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

**Выводы**

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
  - применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
  - применять произвольные словообразования;
  - применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и сверху - 2 см.

**Обязательные элементы:**

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

- **аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

- **ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

- **список литературы** должен содержать 15-20 источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

**ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ**

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строки, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:  
Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)  
Учреждение или организация  
Адрес  
Ученая степень, ученое звание, должность  
Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

### **ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ**

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

**Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

#### **Пример оформления формулы в тексте**

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 (1 + \frac{1}{2\alpha}) / d, \quad (1)$$

где  $\alpha = 1 + 2a/b$  - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$  - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

**Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате \*.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

#### **Рисунок 1 - Текст подписи**

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

**Таблицы** должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

*Адрес издателя:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95  
Тел.: (4862) 75-13-18  
www.oreluniver.ru.  
E-mail: info@oreluniver.ru

*Адрес редакции:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77  
Тел.+7 905 856 6556  
www.oreluniver.ru.  
E-mail: srmostu@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании  
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,  
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 12.09.2025 г.  
Дата выхода в свет 25.09.2025 г.  
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,2  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 205

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95