

ISSN 2073-7432

МИР ТРАНСПОРТА
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 2-2 (85) 2024

<p>Главный редактор: Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.</p> <p>Заместители главного редактора: Васильева В.В. канд. техн. наук, доц. Родимцев С.А. д-р техн. наук, доц.</p> <p>Редколлегия: Агеев Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия) Басков В.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия) Власов В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия) Глаголев С.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия) Демич М. д-р техн. наук, проф. (Сербия) Денисов А.С. д-р техн. наук, проф. (Россия) Евтюков С.А. д-р техн. наук, проф. (Россия) Жаковская Л. д-р. наук, проф. (Польша) Жанказиев С.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Захаров Н.С. д-р техн. наук, проф. (Россия) Зырянов В.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Маткеримов Т.Ы. д-р техн. наук, проф. (Кыргызстан) Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва) Пржибыл П. д-р техн. наук, проф. (Чехия) Пугачев И.Н. д-р техн. наук, доц. (Россия) Пушкарев А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия) Рассоха В.И. д-р техн. наук, проф. (Россия) Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия) Ризаева Ю.Н. д-р техн. наук, доц. (Россия) Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия) Трофименко Ю.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Трофимова Л.С. д-р техн. наук, доц. (Россия) Шарата А. д-р. наук, проф. (Польша)</p> <p>Ответственный за выпуск: Акимочкина И.В.</p> <p>Адрес редколлегии: 302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77 Тел. +79058566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru</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: 16376 по объединенному каталогу «Пресса России» на сайтах www.pressa-rf.ru и www.akc.ru</p> <p>© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2024</p>	<h2>Содержание</h2> <p><i>Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте</i></p> <p><i>А.И. Когтева, М.В. Буйлова, Д.Н. Фирсов К вопросу транспортного районирования города Калининграда..... 3</i></p> <p><i>С.А. Лятин, Д.А. Кадасев, С.А. Дмитриев Планирование мультимодальных перевозок в условиях санкций и возникновения районов с опасными условиями для движения транспорта..... 12</i></p> <p><i>Е.Н. Кожанов, М.И. Мальшев, И.Ч. Асхабалиев Формирование комплексной транспортно-технологической системы на основе мультимодального коридора через Монголию и Западный Китай..... 20</i></p> <p><i>Управление процессами перевозок</i></p> <p><i>С.В. Еремин Глобальные мировые торгово - экономические трансформации - предпосылки к реинжинирингу транснациональных логистических коммуникаций России (на примере Восточного полигона)..... 26</i></p> <p><i>И.М. Михневич, А.А. Белехов Метод оценки целесообразности внедрения транспорта по запросу в городских и пригородных зонах..... 32</i></p> <p><i>Эксплуатация автомобильного транспорта</i></p> <p><i>Б.В. Лукашов, С.А. Евтюков, Р.В. Лукашов, С.А. Павлов Статистический анализ данных ДТП в прикладных задачах..... 42</i></p> <p><i>Е.Г. Малкина, М.В. Буйлова, С.И. Корягин Анализ траекторий движения сочлененных автобусов по улично-дорожной сети города..... 52</i></p> <p><i>Д.О. Ломакин, А.К. Поздняков, И.В. Родичева Исследование и оценка технического состояния подшипниковых узлов..... 61</i></p> <p><i>А.Г. Гусев, В.А. Бугримов, В.И. Сарбаев, А.В. Кондратьев Методика оценки эффективности применения предупредительного ремонта для заднего моста автобуса..... 68</i></p> <p><i>А.К. Арцыбашев, А.Н. Новиков Особенности восстановления коленчатого вала автомобильного двигателя методом лазерной наплавки..... 78</i></p> <p><i>В.А. Полуэтов, И.Д. Марусина, А.В. Марусин, В.Г. Назаркин Разработка предложений по безопасной эксплуатации средств индивидуальной мобильности..... 83</i></p> <p><i>В.Н. Ложкин, И.В. Сацук Робото-технический метод контроля аварийных режимов эксплуатации двигателей пожарных машин..... 91</i></p> <p><i>Е.В. Печатнова, И.А. Новиков, С.Н. Павлов, А.В. Еськов Частотная оценка характеристик водителя при наездах на пешехода..... 98</i></p> <p><i>Интеллектуальные транспортные системы</i></p> <p><i>Н.А. Загородний, М.В. Головкин Исследование методов использования беспилотных летательных аппаратов в сфере мониторинга дорожного движения..... 107</i></p> <p><i>А.Н. Дорофеев, В.М. Курганов, А.А. Король, Д.Ю. Лим, З.З. Захаров Оценка надежности автомобильного перевозчика в цифровой транспортной платформе..... 115</i></p> <p><i>А.Н. Семкин Перспективы внедрения подсистемы обеспечения приоритетного проезда транспортных средств в ИТС городских агломераций..... 123</i></p> <p><i>А.Н. Шевляков Подсистема диспетчеризации управления служб содержания дорог. Опыт и перспективы применения искусственного интеллекта..... 131</i></p> <p><i>Логистические транспортные системы</i></p> <p><i>А.Д. Ефимов, А.О. Алибаганов, Ю.И. Савченко, Е.В. Скринников Совершенствование методики оценки безопасности маршрутов движения коммерческих транспортных средств..... 140</i></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

№ 2-2(85) 2024

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

<p><i>Editor-in-Chief</i> A.N. Novikov <i>Doc.Eng., Prof</i></p> <p><i>Associates Editor</i> V.V. Vasileva <i>Can. Eng.</i> S.A. Rodimzev <i>Doc. Eng.</i></p>	<h2 style="text-align: center;">Contents</h2> <p style="text-align: center;"><i>Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport</i></p>
<p><i>Editorial Board:</i> E.V. Ageev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> I.E. Agureev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> V.N. Baskov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> V.M. Vlasov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> S.N. Glagolev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> M. Demic <i>Doc. Eng., Prof. (Serbia)</i> A.S. Denisov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> S.A. Evtyukov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> L. Żakowska <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i> S.V. Zhankaziev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> N.S. Zaharov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> V.V. Zyryanov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> T.Y. Matkerimov <i>Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan)</i> O. Prentkovskis <i>Doc. Eng., Prof. (Lithuania)</i> P. Pribyl <i>Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)</i> I.N. Pugachev <i>Doc. Eng. (Russia)</i> A.E. Pushkarev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> V.I. Rassoja <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> A.N. Rementsov <i>Doc. Edc., Prof. (Russia)</i> Yu.N. Rizaeva <i>Doc. Eng. (Russia)</i> V.I. Sarbaev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> Yu.V. Trofimenko <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> L.S. Trofimova <i>Doc. Eng. (Russia)</i> A. Szarata <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i></p>	<p>A.I. Kogteva, M.V. Builova, D.N. Firsov To the issue of transport zoning of the city of Kaliningrad 3</p> <p>S.A. Lyapin, D.A. Kadasev, S.A. Dmitriev Planning of multimodal transportation in conditions of sanctions and the emergence of areas with dangerous conditions for traffic..... 12</p> <p>E.N. Kozhanov, M.I. Malyshev, I.C. Askhabaliyev Formation of an integrated transport and technological system based on a multimodal corridor through Mongolia and Western China..... 20</p>
<p><i>Person in charge for publication:</i> I.V. Akimochkina</p>	<p style="text-align: center;"><i>Management of transportation processes</i></p> <p>S.V. Eremin Global trade and economic transformations - prerequisites for the reengineering of transnational logistics communications in Russia (using the example of the Eastern polygon)..... 26</p> <p>I.M. Mikhnevich, A.A. Belekhov Comparison of methods for assessing the sustainable urban development after the implementation of bus rapid transit systems (BRTS).... 32</p>
<p><i>Editorial Board Address:</i> 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru</p>	<p style="text-align: center;"><i>Operation of motor transport</i></p> <p>B.V. Lukashov, S.A. Evtyukov, R.V. Lukashov, S.A. Pavlov Statistical analysis of accident data in applied tasks..... 42</p> <p>E.G. Malkina, M.V. Builova, S.I. Koryagin Analysis of movement trajectories of articulated buses across the city road network..... 52</p> <p>D.O. Lomakin, A.K. Pozdnykov, I.V. Rodicheva research and evaluation of the technical condition of bearing assemblies..... 61</p> <p>A.G. Gusev, V.A. Bugrimov, V.I. Sarbaev, A.V. Kondrat'ev Methodology for assessing the effectiveness of preventive repairs for the rear axle of a bus 68</p> <p>A.K. Artsybashev, A.N. Novikov Features of restoring the crankshaft of an automotive engine using laser surface method..... 78</p> <p>V.A. Poluektov, I.D. Marusina, A.V. Marusin, V.G. Nazarkin Development of proposals for the safe use of personal mobility devices..... 83</p> <p>V.N. Lozhin, I.V. Satsuk Robotic-technical method for control of emergency operating modes of fire engines..... 91</p> <p>E.V. Pechatnova, I.A. Novikov, S.N. Pavlov, A.V. Eskov Frequency assessment of driver characteristics in pedestrian crashes..... 98</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 style="text-align: center;"><i>Intelligent transport systems</i></p> <p>N.A. Zagorodniy, M.V. Golovkin Research of methods of using unmanned aircraft in the field of traffic monitoring..... 107</p> <p>A.N. Dorofeev, V.M. Kurganov, A.A. Korol, D.Yu. Lim, Z.Z. Zakharov Assessment of the reliability of a road carrier in a digital transport platform 115</p> <p>A.N. Semkin Prospects for the introduction of a subsystem for ensuring priority passage of vehicles in ITS urban agglomerations..... 123</p> <p>A.N. Shevlyakov The subsystem of dispatching the management of road maintenance services. Experience and prospects of artificial intelligence application 131</p>
<p>Subscription index: 16376 in a union catalog «The Press of Russia» on sites www.pressa-ff.ru www.akc.ru</p>	<p style="text-align: center;"><i>Logistic transport systems</i></p> <p>A.D. Efimov, A.O. Alibagandov, Y.I. Savchenko, E.V. Skrinnikov Methodologies for assessing traffic safety along the route of commercial vehicles..... 140</p>
<p>© Registration. Orel State University, 2024</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**

Научная статья
УДК 656.072(076.5)
doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-3-11

А.И. КОГТЕВА, М.В. БУЙЛОВА, Д.Н. ФИРСОВ

**К ВОПРОСУ ТРАНСПОРТНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ
ГОРОДА КАЛИНИНГРАДА**

***Аннотация.** Статья посвящена транспортному районированию. Особое внимание уделено документам транспортного планирования, которые связаны с транспортным районированием, а также методическим рекомендациям, используемые при разработке этих документов. Так же рассматривают изменения в законодательстве, связанные с транспортным планированием, а именно по исключению комплексной схемы организации транспортного обслуживания из системы документов транспортного планирования и перекалфицировать его в региональный стандарт транспортного обслуживания населения. Показан процесс разделения территории на транспортные зоны, подчеркивая важность соблюдения принципов при выполнении, потому что от этого зависит достоверность транспортной модели.*

***Ключевые слова:** документы транспортного планирования, транспортное районирование, транспортная сеть, транспортное моделирование, транспортные зоны*

Введение

Актуальность транспортного районирования обусловлена тем, что методы его реализации раскрыты недостаточно, а в исследованиях, которые показывают окончательный результат, имеются недочеты в выполнении. Задачи данного исследования: рассмотреть документы транспортного планирования, которые связаны с транспортным районированием, а также методические рекомендации; изучить теорию о выполнении транспортного районирования; провести районирование и проиллюстрировать, как происходит процесс.

ПКРТИ содержит в себе список мероприятий касаясь развития транспортной инфраструктуры города, охватывая все виды транспорта. На транспортной модели основываются такие документы КСОДД и комплексная схема организации транспортного обслуживания (КСОТ). КСОДД – система мероприятий, направленных на изменения организации дорожного движения на муниципальном образовании или для конкретного участка улично-дорожной сети. КСОТ касается изменений маршрутной сети городского общественного транспорта, так же в нем прописывается тип подвижного состава и условия тарифного плана. К этому документу наименьшее число методических рекомендаций и его нет в открытом доступе. Все эти документы не имеют обязательной силы, то есть это скорее описание намерений о возможностях развития транспортной инфраструктуры. В связи с изменениями в ФЗ №220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации», инициированные Минтрансом России, предлагается исключить КСОТ из системы документов транспортного планирования и перекалфицировать его в региональный стандарт транспортного обслуживания населения (РКПТО).

Материал и методы

ПКРТИ считается одним из главных документов транспортного планирования, предусмотренные в нем решения развивает и детализирует КСОТ. На основе установленных в КСОТ и ПКРТИ параметрах и целевых показателей формируется КСОДД [1]. В таблице 1 представлена система документов транспортного планирования.

Документы транспортного планирования тесно связаны с маршрутной сетью, поскольку они обеспечивают основу для развития и оптимизации транспортной инфраструктуры. Эти документы описывают существующую транспортную систему, включая маршрутную сеть, подвижной состав и объекты инфраструктуры, и используются для выявления и решения вопро-

сов, связанных с организацией транспортных потоков и пропускной способностью.

Таблица 1 – Система документов транспортного планирования

	Отраслевое законодательство РФ				Национальный проект «Безопасные и качественные дороги»		
Законодательная основа	Градостроительный кодекс РФ	443-ФЗ «ОДД»	220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок»	Субъект РФ	Агломерация		
Документы транспортного планирования	ПКРТИ городских округов и поселений	КСОДД муниципальных образований	Региональный стандарт	ПКРТИ	ПКРТИ		
		ПОДД дорог					

В работе Буйловой М.В. [2] по теме проектирования маршрутной сети городского общественного транспорта и на самом деле тесно связана с документами транспортного планирования. Последние содержат рекомендации по развитию транспортных систем, включая маршрутную сеть, и используются для выявления и решения вопросов, связанных с организацией транспортных потоков и пропускной способностью. Маршрутная сеть является важнейшим компонентом транспортного планирования, поскольку она определяет целесообразность и эффективность транспортных услуг. Правильное разделение города на транспортные зоны позволит подготовить исходные данные для последующего построения транспортных и пассажирских матриц корреспонденций [3].

С 1 марта 2024 года вступают в силу изменения в 220-ФЗ, которые вводят понятия регионального стандарта транспортного обслуживания населения и региональный стандарт транспортного обслуживания населения. В таблице 2 приведена сравнительная характеристика ПКРТИ и КСОДД.

Таблица 2 – Сравнение характеристик документов транспортного планирования

Название документа	Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры	Комплексная схема организации дорожного движения
Сокращение	ПКРТИ	КСОДД
Требования	Постановление Правительства РФ от 25.12.2015 № 1440 «Об утверждении требований к ПКРТИ поселений, городских округов»	Приказ Министерства транспорта РФ от 17.03.2015 №43 «Об утверждении Правил подготовки проектов и схем организации дорожного движения»
Назначение	Обеспечение устойчивого функционирования транспортной системы, развития и совершенствования улично-дорожной сети	Обеспечение качественного транспортного обслуживания населения и эффективного дорожного движения
Разрабатывается для территориальных образований	Городских округов и поселений, субъектов, агломераций	Муниципальных образований и агломераций
Особенности	Разрабатывается для населенного пункта и всех видов транспорта, которые функционируют на территории на перспективные периоды	Разрабатывается для муниципальных образований с численностью участников дорожного движения не менее 10 тыс. чел.
Содержание	– паспорт; – оценка эффективности мероприятий; – анализ финансовых потоков и источников финансирования мероприятий;	– описание существующей дорожно-транспортной ситуации; – предложения по организации дорожного движения
	– описание транспортной инфраструктуры; – анализ будущего транспортного спроса; – способы по развитию транспортной инфраструктуры; – определение инвестиционных проектов для развития транспортной инфраструктуры; – рекомендации по совершенствованию правового и информационного обеспечения развития транспортной инфраструктуры	

КСОДД занимается разработкой мероприятий, направленных на оптимизацию схемы организации и безопасность дорожного движения, предупреждение заторовых ситуаций, учитывая изменения транспортных потребностей районов. В данном документе ставятся конкретные параметры оценки эффективности организации дорожного движения, например, средняя скорость передвижения пассажира на общественном транспорте, объем грузовых передвижений. ПКРТИ занимается развитием транспортной инфраструктуры, эффективность которой показывают целевые показатели развития, например, увеличении протяженности дорог, снижение количества выбросов.

На сегодняшний момент Минтранса продолжает работать над методическими рекомендациями, которые рекомендуется использовать при разработке документов транспортного планирования, приведенные в таблице 3. Это те руководства, которые необходимо использовать для более эффективной организации транспортного обслуживания.

Таблица 3 – Перечень методических рекомендаций

Этап	Регламентированные документы
Построение транспортной модели	<ul style="list-style-type: none"> * Методические рекомендации по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации * Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения и требований к планированию развития инфраструктуры велосипедного транспорта поселений, городских округов в Российской Федерации * Методические рекомендации для субъектов Российской Федерации по определению необходимого количества парковок на территории муниципальных образований с учетом взаимосвязи с параметрами работы пассажирского транспорта общего пользования * Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Развитие пешеходных пространств поселений, городских округов в Российской Федерации. * Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Формирование единого парковочного пространства в городах Российской Федерации. * Методические рекомендации по оценке воздействия размещения объектов капитального строительства на основные параметры дорожного движения с использованием программных продуктов математического моделирования
Построение МК	<ul style="list-style-type: none"> * Проект методических рекомендаций по проведению мониторинга дорожного движения * Методические рекомендации по оценке и прогнозированию характеристик транспортного спроса при проектировании организации дорожного движения и планирования развития транспортной инфраструктуры
Построение базовой МС	<ul style="list-style-type: none"> * Методические рекомендации по проведению мероприятий по улучшению условий дорожного движения и повышению безопасности дорожного движения в целях ликвидации мест концентрации дорожно-транспортных происшествий, включающие типовые решения * Методические рекомендации по использованию программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при разработке программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов * Методические рекомендации по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации
Оптимизация МС	<ul style="list-style-type: none"> * Методические рекомендации по оценке воздействия размещения объектов капитального строительства на основные параметры дорожного движения с использованием программных продуктов математического моделирования * Методические рекомендации по оптимизации светофорного регулирования и координации работы светофорных объектов

В методических рекомендациях по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации утв. Минтрансом России указано, что при проектировании маршрутной сети городского общественного транспорта необходимо учитывать градостроительные документы и документы транспортного планирования.

В соответствии с приложением 3 методических рекомендаций по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации приведены рекомендации по проектированию маршрутных сетей, более подробно этапы проектирования МС проиллюстрированы на рисунке 1.

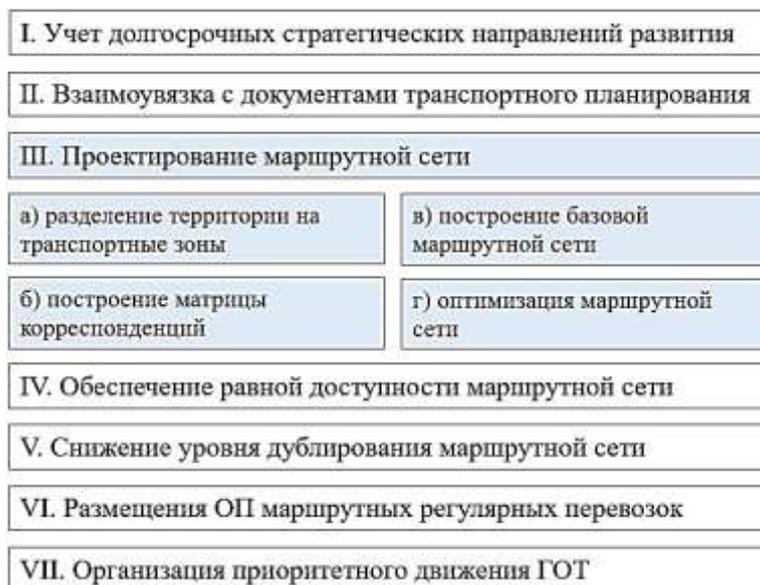


Рисунок 1 – Этапы проектирования маршрутной сети

Основной целью транспортного планирования, является обеспечение возможности функционировать всех структурных элементов города и передвижений населения с разными целями [4]. Так как одним из ключевых этапов проектирования маршрутной сети является транспортное районирование. Необходимо рассмотреть подробнее принципы и правила его выполнения, потому что от качества выполнения данного этапа зависит конечный результат проектирования маршрутной сети.

Теория

Среди приведенных методических рекомендаций непосредственно к транспортному районированию относятся (табл. 3): методические рекомендации по оценке воздействия размещения объектов капитального строительства на основные параметры дорожного движения с использованием программных продуктов для детального моделирования дорожного движения, а также методические рекомендации по разработке документов транспортного планирования РФ.

В настоящее время существует большое количество исследований, посвященных градостроительному зонированию. Включающих в себя как часть транспортное районирование, однако, научных исследований по тематике транспортного районирования не достаточное количество. Важной целью градостроительства это улучшение условий транспортной доступности и единство транспортной системы города, которая взаимодействует с другими системами [5]. В работах С.С. Ушакова [6] и А.Э. Горева [7] транспортная система рассматривается как совокупность транспортных средств и оборудования, компонентов транспортной инфраструктуры.

Процесс транспортного районирования является составляющей любого документа транспортного планирования. В области транспортного районирования мало научно-исследовательских работ, а те, что есть не всегда придерживаются принципов его проведения. В транспортном моделировании город необходимо разбить на транспортные районы, границы которых обозначают их пространственное положение. [8]. Количество транспортных районов и их размер определяется размерами города и численностью населения [9]. Капский Д.В. [10] предлагает определять количество зон в зависимости от численности населения: один транспортный район на 10 тыс. жителей. Кроме того, стоит отметить, что транспортные зоны не обязательно должны быть одинаковыми по численности населения. Однако на последующем этапе оптимизации маршрутных сетей в контексте транспортного моделирования, в частности, путем выборочного наблюдения для создания матрицы пассажиропотока, значительная роль отводится одинаковой численности населения в транспортных зонах. При отсутствии этого равенства вероятность ошибок в расчетах может возрасти, что приведет к более существенной неточности в результатах. Рекомендуются соблюдать следующие принципы транспортного районирования:

- границы районов должны проходить по застроенным территориям, либо по естественным преградам;
- районы не обязательно должны быть равны по площади и численностью населения, но рекомендуется выделять более мелкие районы на тех моделируемых территориях, которые примыкают к наиболее загруженным и важным участкам дорожной сети;
- дороги и остановочные пункты должны находиться внутри районов;
- не допускаются вытянутые конфигурации транспортных районов;
- рекомендуется согласовывать районы с административным делением.

При определении размера расчетных зон важно учитывать следующее правило: размер зон должен быть таким, чтобы жителям, находящимся в них, не приходилось пользоваться транспортом [11].

В транспортном моделировании центроид является условной точкой внутри транспортного района, которая порождает и поглощает транспортные потоки [12]. В зависимости от того, каким образом город будет поделен на транспортные районы и что будет браться за центроид транспортных районов, будет зависеть точность расчетов и достоверность выводов.

В каждой зоне определяется центроид, который может находиться в геометрическом центре транспортной зоны, а в случае отчётливо не равномерности функционального зонирования, берется центр жилого района или промышленной застройки [13]. Центроиды могут находиться в геометрическом центре транспортного района, как выполнено в работе А.Э Воробьева и др., но стоит предположить, что данный способ будет менее достоверный и менее трудозатратный [14]. В работе [15], где характеристические центры районов выступают как пункты, для которых строится матрица корреспонденций транспортных потоков, удобство такого подхода состоит в том, что можно графически отобразить матрицу межрайонных корреспонденций. Поляков А.С. проверил метод, который использует остановки общественного транспорта с наибольшим пассажиропотоком как центры для транспортных районов, это позволяет исключить субъективные факторы, не требует подготовки новых исходных данных в модель, и учитывает возможную несимметричность потоков [16].

Для определения границ следует придерживаться следующей последовательности действий, указанной на рисунке 2.

Все расчетные зоны должны иметь номер, последовательность нумерации осуществляется по правилу меандра или спирали.

1. Выделить внешнюю границу системы транспортного районирования.
2. Выделить основные линейные гидрографические объекты.
3. Выделить элементы рельефа, разделяющие территорию на изолированные участки.
4. Выделить магистральные железные дороги.
5. Выделить крупные разрывы между застроенными и предполагаемыми к застройке территориями.

Рисунок 2 – Алгоритм определения границ транспортных зон

На стадии транспортного районирования определяются транспортные зоны, для которых при моделировании рассчитываются число входящих и исходящих транспортных потоков. Для получения наиболее точных и достоверных результатов рекомендуется устанавливать наибольшее возможное число транспортных районов принимая во внимание ограничения по получению входных данных, а также вычислительных ресурсов для расчета транспортной модели.

Результаты и обсуждение

Город Калининград представляет собой радиально-кольцевую планировочную структуру и имеет 3 административных района – Центральный, Ленинградский и Московский. Плотность магистральной УДС превышает допустимые значения, а общий уровень загрузки существенно превышает комфортный показатель. Стоит отметить, что город не имеет ярко выраженных спальных и промышленных районов.

Транспортное районирование можно проводить в любом программном обеспечении геоинформационных систем, например, QGIS, ArcGIS, Grass GIS и др. В рамках данной работы была произведена процедура транспортного районирования в QGIS, потому что данная программа не имеет ограничений в использовании и является бесплатной. Остальные либо платные, как ArcGIS, либо имеют такой же функционал, как и у QGIS. Grass GIS работает с векторами и поддерживает реальную топологию, для транспортного районирования в этом нет необходимости. Так же существует PTV Visum программный продукт для транспортного планирования городов и регионов, в котором тоже возможно проводить транспортное районирование, но это слишком дорогой программный продукт, а академическая версия имеет ограничения в создании транспортных районов, что мешает сделать качественную транспортную модель.

Районирование производилось в соответствии с правилами, используя полигоны в качестве транспортных зон. При построении зон удобно использовать функцию прилипания, так как это дает возможность построить смежные зоны плотно прилегающими друг к другу, все можно делать в едином заданном стиле. QGIS открытая географическая база данных, поэтому в ней же, можно выделить такие объекты, как железная дорога, водоемы, реки, парки и многое другое. Для идентификации зон существует плагин, позволяющий проводить автоматическую нумерацию.

На представленном рисунке 3 отражено транспортное районирование города в пределах исследуемой территории. Наблюдается, что границы районов проходят по дорожным магистралям, по которым осуществляется движение ГОТ. Такое расположение границ противоречит принципам проведения транспортного районирования и подобные недочеты оказывают негативное влияние на достоверность результатов транспортной модели.

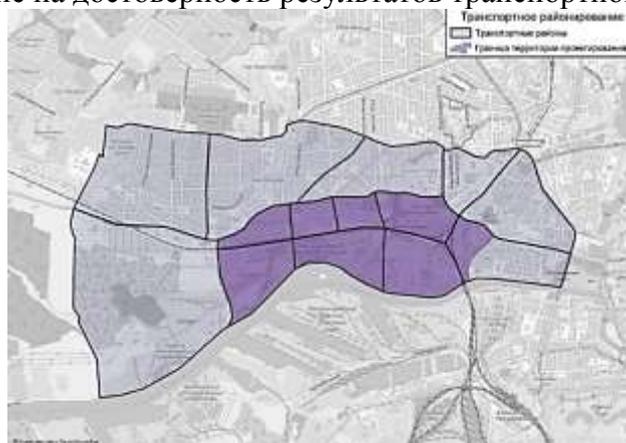


Рисунок 3 – Транспортное районирование исследуемой территории

Поэтому было решено провести транспортное районирование следуя всем принципам его проведения. Для начала зоны строились внутри административной границы по естественным границам и железной дороге, как представлено на рисунке 4.



Рисунок 4 – Граница зоны по железной дороге и естественной преграде

В соответствии с принципами построения зон, была проведена агрегация территории города с помощью функций программного обеспечения QGIS. В результате данной работы

территория города была разделена на транспортные зоны, которые были пронумерованы и наделены центроидами в геометрических центрах. Результат проделанной работы представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Нумерация и центроиды транспортных районов

В результате проведенной работы удалось разделить город на 146 транспортных районов. Сам процесс разделения территории на транспортные зоны является довольно трудоемким и времязатратным. Транспортное районирование проводилось с целью в дальнейшем составить транспортную модель, которая классифицируется по уровню детализации [17].

Причиной выбора программного обеспечения в пользу QGIS объясняется тем, что данная кроссплатформенная система находится в открытом доступе и не имеет ограничений в работе, в дальнейшем файлы могут быть импортированы для моделирования в совместимые с программными продуктами для решения оптимизационных задач макро моделирования транспортных моделей городов и регионов, например, RITM³. Так как транспортное районирование охватывает региональную дорожную сеть и цель макроэкономической модели состоит в том, что бы оценить характеристику транспортных потоков.

Выводы

В данной работе были рассмотрены документы транспортного планирования, которые устанавливают цели, направления и показатели развития транспортной системы. Были изучены методические рекомендации, используемые в разработке документов транспортного планирования, и приведены правила выполнения транспортного районирования, включая определение границ их количество и другие. В ходе работы был выполнен процесс деления территории города на 146 транспортного районов. Было отмечено, что данный процесс является довольно трудоемким и требует значительных усилий для выполнения качественной работы.

Тщательно проделанная работа по транспортному районированию города позволит получить наиболее достоверную картину сложившейся дорожной ситуации. Из-за трудоемкости работ происходят ошибки и пренебрежение некоторыми правилами, что сказывается на качестве транспортного макро моделирования. Прделанная работа в дальнейшем будет использована как основа для транспортной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брызгина Е.О., Казьмин Д.М. Планирование инвестиций федерального бюджета в транспортную инфраструктуру [Электронный ресурс] // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2019. №5(84). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-investitsiy-federalnogo-byudzheta-v-transportnuyu-infrastrukturu>.
2. Буйлова М.В. Формирование маршрутных сетей городского общественного транспорта // Технические технологические проблемы сервиса. 2022. №1(59). С. 45-52. EDN TDWBJE.
3. Корягин С.И., Клячек П.М. Прикладные расчетные методы, модели и алгоритмы, применяемые при организации и управлении дорожным движением. 2-е издание. Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2015. 142 с.
4. Филимонок Л.А. Инженерное благоустройство городских территорий и транспорт: учебное пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 59 с.
5. Рекомендации по проектированию общественно-транспортных центров (узлов) в крупных городах. М.: ЦНИИП градостроительства 1997. 65 с.
6. Ушаков С.С. Транспортная система мира / под ред. С.С. Ушакова, Л.И. Василевского. М.: Транспорт, 1971. 216 с.
7. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем: учебное пособие / А.Э. Горев. СПб.: СПбГАСУ,

2010. 214 с.

8. Якимов М.Р., Попов Ю.А. Транспортное планирование. Практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM. Москва: ООО «Издательская группа «Логос», 2014. 200 с. EDN JXQZMB.

9. Самойлов Д.С. Городской транспорт. М.: Стройиздат, 1983. 384 с.

10. Капский Д.В. обобщенные подходы к решению задач формирования сети городского пассажирского транспорта [Электронный ресурс] // Вестник Белорусско-Российского университета. 2021. №4(73). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obobshchennye-podhody-k-resheniyu-zadach-formirovaniya-seti-gorodskogo-passazhirs>.

11. Загидуллин Р.Р., Галеева А.А. Районирование территории г. Казани при построении цифровой транспортной модели // Техника и технология транспорта. 2020. №4. С. 9-9.

12. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. Москва: ООО «Издательская группа «Логос», 2013. 188 с. EDN RXRQZV.

13. Лосин Л.А. Транспортные системы страны, ее регионов и городов: практикум. Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2022. 39 с.

14. Воробьев А.Э., Титов А.Ю., Гаврилин В.А. [и др.]. Транспортная модель Московского региона / Под редакцией Р.Р. Назирова, Л.Н. Щура // Вычислительные технологии в естественных науках. Методы суперкомпьютерного моделирования: Сборник трудов. Москва: Институт космических исследований Российской академии наук. 2015. С. 49-62. EDN XRMUAN.

15. Скирковский С.В., Капский Д.В., Лосин Л.А. Моделирование функционально-планировочной структуры города. 2021.

16. Поляков Александр Сергеевич связность улично-дорожной сети городов как фактор социально-экономического развития города [Электронный ресурс] // Современная научная мысль. 2019. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svyaznost-ulichno-dorozhnoy-seti-gorodov-kak-faktor-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-goroda>.

17. Ломакин Д.О., Бодров А.С., Кулев М.В., Кулев А.В. Методы моделирования дорожного движения / Ответственный редактор А.А. Горохов // Будущее науки - 2018: Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах. Т. 4. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга». 2018. С. 194-196. EDN XNIVBZ.

Когтева Анна Игоревна

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта
Адрес: 236029, Россия, г. Калининград, ул. Озерова, д. 57
Магистрант
E-mail: AIKogteva@kantiana.ru

Буйлова Мария Валерьевна

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта
Адрес: 236029, Россия, г. Калининград, ул. Озерова, д. 57
Старший преподаватель ОНК Институт высоких технологий
E-mail: MBuilova@kantiana.ru

Фирсов Денис Николаевич

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта
Адрес: 236029, Россия, г. Калининград, ул. Озерова, д. 57
Аспирант
E-mail: 89003463131@mail.ru

A.I. KOGTEVA, M.V. BUILOVA, D.N. FIRSOV

**TO THE ISSUE OF TRANSPORT ZONING OF THE CITY OF
KALININGRAD**

Abstract. *The article is devoted to transport zoning. Particular attention is paid to the documents of transport planning, which are related to transport zoning, as well as methodological recommendations used in the development of these documents. Also consider changes in the legislation related to transport planning, namely on the exclusion of a comprehensive scheme of organization of transport services from the system of transport planning documents and reclassify it as a regional standard of transport services to the population. The process of dividing the territory into transport zones is shown, emphasizing the importance of adherence to the principles of implementation, because the reliability of the transport model depends on it.*

Keywords: *transportation planning documents, transportation zoning, transportation network, transportation modeling, transportation zones*

BIBLIOGRAPHY

1. Bryazgina E.O., Kaz`min D.M. Planirovanie investitsiy federal'nogo byudzheta v transportnuyu infrastrukturu [Elektronnyy resurs] // Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekono-mike. 2019. №5(84). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-investitsiy-federalnogo-byudzheta-v-transportnuyu-infrastrukturu>.
2. Buylova M.V. Formirovanie marshrutnykh setey gorodskogo obshchestvennogo transporta // Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa. 2022. №1(59). S. 45-52. EDN TDWBJE.
3. Koryagin S.I., Klachek P.M. Prikladnye raschetnye metody, modeli i algoritmy, primenyaemye pri organizatsii i upravlenii dorozhnym dvizheniem. 2-e izdanie. Kaliningrad: Baltiyskiy federal'nyy universitet imeni Immanuila Kanta, 2015. 142 s.
4. Filimonenko L.A. Inzhenernoe blagoustroystvo gorodskikh territoriy i transport: uchebnoe posobie. Chel-yabinsk: YUUrGU, 2006. 59 s.
5. Rekomendatsii po proektirovaniyu obshchestvenno-transportnykh tsentrov (uzlov) v krupnykh gorodakh. M.: TSNIIP gradostroitel'stva 1997. 65 s.
6. Ushakov S.S. Transportnaya sistema mira / pod red. S.S. Ushakova, L.I. Vasilevskogo. M.: Transport, 1971. 216 s.
7. Gorev A.E. Osnovy teorii transportnykh sistem: uchebnoe posobie / A.E. Gorev. SPb.: SPbGASU, 2010. 214 s.
8. YAKimov M.R., Popov Yu.A. Transportnoe planirovanie. Prakticheskie rekomendatsii po sozdaniyu transportnykh modeley gorodov v programmnom komplekse PTV Vision® VISUM. Moskva: OOO «Izdatel'skaya gruppа «Logos», 2014. 200 s. EDN JXQZMB.
9. Samoylov D.S. Gorodskoy transport. M.: Stroyizdat, 1983. 384 s.
10. Kapskiy D.V. obobshchennyye podkhody k resheniyu zadach formirovaniya seti gorodskogo passazhirsko-go transporta [Elektronnyy resurs] / Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta. 2021. №4(73). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obobshchennyye-podkhody-k-resheniyu-zadach-formirovaniya-seti-gorodskogo-passazhirs>.
11. Zagidullin R.R., Galeeva A.A. Rayonirovanie territorii g. Kazani pri postroenii tsifrovoy transportnoy modeli // Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2020. №4. S. 9-9.
12. YAKimov M.R. Transportnoe planirovanie: sozdanie transportnykh modeley gorodov. Moskva: OOO «Iz-datel'skaya gruppа «Logos», 2013. 188 s. EDN RXRQZV.
13. Losin L.A. Transportnye sistemy strany, ee regionov i gorodov: praktikum. Sankt-Peterburg: FGBOU VO PGUPS, 2022. 39 s.
14. Vorob`ev A.E., Titov A.YU., Gavrilin V.A. [i dr.]. Transportnaya model` Moskovskogo regiona / Pod redaktsiyey R.R. Nazirova, L.N. Shchura // Vychislitel'nye tekhnologii v estestvennykh naukakh. Metody superkomp'yuternogo modelirovaniya: Sbornik trudov. Moskva: Institut kosmicheskikh issledovaniy Rossiyskoy akademii nauk. 2015. S. 49-62. EDN XRMUAH.
15. Skirkovskiy S.V., Kapskiy D.V., Losin L.A. Modelirovanie funktsional'no-planirovochnoy struktury go-roda. 2021.
16. Polyakov Aleksandr Sergeevich svyaznost` ulichno-dorozhnoy seti gorodov kak faktor sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya goroda [Elektronnyy resurs] / Sovremennaya nauchnaya mysl'. 2019. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svyaznost-ulichno-dorozhnoy-seti-gorodov-kak-faktor-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-goroda>.
17. Lomakin D.O., Bodrov A.S., Kulev M.V., Kulev A.V. Metody modelirovaniya dorozhnogo dvizheniya / Otvetstvennyy redaktor A.A. Gorokhov // Budushchee nauki - 2018: Sbornik nauchnykh statey 6-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. V 4-kh tomakh. T. 4. Kursk: Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo «Universitet-skaya kniga». 2018. S. 194-196. EDN XNIVBZ.

Kogteva Anaa Igorevna

Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236029, Russia, Kaliningrad, Ozerova str. 57
Master's student
E-mail: AIKogteva@kantiana.ru

Firsov Denis Nikolaevich

Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236029, Russia, Kaliningrad, Ozerova str. 57
Postgraduate student
E-mail: 89003463131@mail.ru

Builova Maria Valerievna

Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236029, Russia, Kaliningrad, Ozerova str. 57
Senior Lecturer
E-mail: MBuilova@kantiana.ru

Научная статья

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-12-19

С.А. ЛЯПИН, Д.А. КАДАСЕВ, С.А. ДМИТРИЕВ

ПЛАНИРОВАНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ И ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАЙОНОВ С ОПАСНЫМИ УСЛОВИЯМИ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА

Аннотация. Рассмотрены вопросы планирования маршрутов мультимодальных перевозок в условиях санкций и возникновения районов с опасными условиями для движения транспортных средств. Обозначены проблемы, которые возникают перед оператором, организующим доставку груза, вследствие закрытия некоторых участков международных транспортных коридоров. Предложена методика оптимального решения данной проблемы с использованием сочетания нечеткой логики и искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: мультимодальные перевозки, математическая модель, нечеткая логика, нейронные сети

Введение

Многие предприятия, использующие транспорт для перевозки грузов и пассажиров, планируют маршруты с использованием математических моделей. Это позволяет выбирать оптимальные маршруты, повысить: эффективность использования транспортно-логистической системы, стабильность и устойчивость социо-природо-экономической системы, в которой она функционирует. Еще больший эффект от планирования можно получить при управлении мультимодальными перевозками. Организация таких перевозок включает в себя планирование маршрутов доставки материальных ресурсов, как правило, с использованием комбинации различных видов транспорта, на глобальной системе маршрутов, сформированной устоявшимся трафиком товаров и пассажиров.

Однако, в последнее время, стремясь сдержать развитие России, некоторые страны западной Европы, Канада, Австралия, Япония и др., подстрекаемые США, вводят санкции, которые ломают привычные маршруты движения грузовых и пассажирских потоков. Кроме того, в некоторых странах, через которые проходят важные транспортные маршруты, искусственно создается напряженность, влияющая на безопасность транспортных коридоров. Поэтому, обычные математические методы, используемые для построения маршрутов с минимальным временем, минимальным пробегом или минимальными денежными затратами требуют предварительной корректировки.

Основными характеристиками мультимодальной перевозки следует считать: последовательное применение различных видов транспорта; несение полной ответственности одной компанией-перевозчиком за выполнение перевозки, загрузку-выгрузку и сохранность перевозимых товаров. При этом доставка осуществляется от «двери к двери» без заключения дополнительных контрактов [1]. Для осуществления такого вида перевозок несмотря на включение в логистическую цепочку различных видов транспортных средств, используется один транспортный документ и единая тарифная ставка. При этом вид мультимодальной перевозки определяется типом основного вида транспорта, который используется для выполнения данного заказа [2]. Существует несколько видов мультимодальных перевозок - автомобильные, воздушные, железнодорожные, речные, морские.

Материал и методы

Можно выделить несколько этапов в организации мультимодальной перевозки: планирование маршрута; выбор перевозчиков и видов транспортных средств; планирование необходимых погрузо-разгрузочных действий на транзитных терминалах и складах; создание общей сметы на осуществление всех работ; заключение договора с клиентом на осуществление перевозки и сопровождение груза, а также принятие ответственности за груз и дополнительных условий, касающихся условий хранения и доставки [3].

© С.А. ЛЯПИН, Д.А. КАДАСЕВ, С.А. ДМИТРИЕВ, 2024

При этом к преимуществам такого вида доставки можно отнести: возможность учитывать все пожелания заказчика и добиваться максимальной скорости доставки даже в труднодоступные и отдаленные регионы страны; возможность выбора транспорта, наиболее подходящего по времени и способного сохранить характеристики груза; существенная экономия ресурсов за счет переключения между видами транспортных средств; значительное уменьшение количества документов и упрощение процесса обработки документов [4].

Планирование мультимодальных маршрутов в условиях санкций и возникновения повышенной опасности на отдельных участках международных транспортных коридоров требует решения комплексной задачи оптимизации, которая должна учитывать интересы всех участников логистической цепочки, их ресурсы, устойчивость внешней и окружающей среды и даст возможность сохранить приемлемые условия жизни для будущих поколений. Для решения проблемы нужно будет либо строительство новых путей транспортировки, что приведет к неизбежному запаздыванию развития новых систем маршрутов, требующих масштабных инвестиций в транспортную инфраструктуру, либо совершенствование методов маршрутизации при планировании. Своевременность является важным аспектом планирования мультимодальных перевозок поскольку дает возможность клиенту использовать стратегию «точно в срок», позволяющую сокращать запасы [5].

На протяжении последних десятилетий множество исследовательских работ было посвящено решению проблемы оптимизации планирования грузовых перевозок при мультимодальных перевозках. Возросший интерес к этому сегменту экономико-математических методов привел к появлению новой прикладной области в транспортных исследованиях. Большинство оптимизационных линейных и нелинейных моделей для задач маршрутизации мультимодальных грузоперевозок основаны на смешанном целочисленном программировании [6].

Автомобильно-железнодорожные мультимодальные маршруты ориентированы на сложные транспортные системы, в которых должно обеспечиваться рациональное взаимодействие двух различных видов транспорта [7]. При этом, железнодорожные перевозки, как правило, осуществляются по фиксированному расписанию, в то время как для автомобильных перевозок обычно устанавливается гибкий график выходов, который может корректироваться в зависимости от складывающейся ситуации. Практическая реализация модели интермодальных автомобильно-железнодорожных маршрутов должна опираться на имеющиеся графики с учетом, что временем отправления грузовиков можно управлять [8]. Это позволяет осуществлять планирование времени отправления грузовых автомобилей с учетом внешних условий, например, дорожного движения, при которых могут возникать заторы, плохой погоды, дорожно-транспортных происшествий и других факторов [9].

Таким образом, нестабильность времени доставки автомобильным транспортом делает эту величину случайной. Напротив, графики движения железнодорожного транспорта позволяют считать относительно стабильным время нахождения в пути, переводя эту величину в разряд условно детерминированных. Подчеркнем, что детерминированность времени нахождения в пути в реальных условиях, может переходить в неопределенность, если учитывать возможные природные и техногенные сбои [10].

Планирование мультимодальных перевозок в условиях неопределенности является не полностью изученной темой научных исследований, и все еще имеет большой потенциал для изучения [11]. Более того, практически отсутствуют работы, в которых предлагалась бы методология решения данной проблемы с использованием сочетания нечеткой логики и искусственных нейронных сетей [12]. Этот инновационный подход к решению задач мультимодальных грузоперевозок все еще остается недостаточно изученным и освещенным в существующей научной литературе, не смотря на то, что он позволяет принимать оперативные решения при возникновении непредвиденных ситуаций на маршрутах доставки с корректировкой опорного плана.

Время обслуживания на терминалах и при перевозке моделируются на основе нечетких временных интервалов и оптимизируются для обеспечения своевременности доставки, требуемой как отправителями, так и получателями [13].

Время в пути на участках маршрута моделируется как нечеткая величина с функцией принадлежности, полученной в процессе длительного опыта использования этих участков, что позволяет использовать при решении задачи оптимальной маршрутизации теорию нечетких множеств и нечеткое программирование [14].

Планирование оптимального маршрута доставки осуществляется путем выбора учитывающего стоимость доставки, время доставки, ограничений введенных санкциями на использование международных транспортных коридоров, рисков, связанных с доставкой, вреда наносимого внешней и окружающей средам в процессе перевозки [15].

Таким образом, в настоящем исследовании продолжается изучение проблемы мультимодальных маршрутов автомобильно-железнодорожного транспорта с точки зрения многоцелевой оптимизации, которая опирается на ноосферологические принципы организации перевозок, учитывающие необходимость своевременности автомобильно-железнодорожных мультимодальных перевозок и повышении экологической устойчивости ноосферы. Такая формулировка проблемы соответствует практике перевозок в реальном мире.

Теория / Расчет

Решение проблемы санкционных ограничений на пользование международными маршрутами, контролируемые не дружественными странами и ограничений, обусловленных внешними условиями начинается с анализа и корректировки графа транспортной сети.

Формализация задачи принятия решения выглядит следующим образом [16].

Имеется конечное множество вариантов маршрутов

$$V = \{v_1, v_2 \dots v_m\} \quad (1)$$

и множество критериев выбора варианта $Q = \{q_j : j = 1 \dots N\}$.

Для каждого критерия q_j может быть получено нечеткое множество

$$q_j = \left\{ \mu_{q_j}(v_1) / v_1, \mu_{q_j}(v_2) / v_2, \dots, \mu_{q_j}(v_m) / v_m \right\},$$

где $\mu_{q_j}(v_i) \in [0, 1]$. (2)

Оценка маршрута v_i по установленному критерию q_j характеризует степень соответствия рассматриваемого варианта маршрута требованию, определяемому критерием q_j . Если критерии имеют одинаковую значимость, то правило для выбора наилучшей альтернативы может быть записано в виде пересечения соответствующих нечетких множеств [21] $D = q_1 \cap q_2 \cap \dots \cap q_N$. Данное пересечение нечетких множеств D обычно формализуют минимизируя функции принадлежности [17].

$$\mu_D(v_i) = \min_{j=1, N} \mu_{q_j}(v_i), \quad j = 1, \dots, N. \quad (3)$$

Наилучший вариант маршрута $v^* \in V$ соответствует максимальному значению функции принадлежности.

$$\mu_D(v^*) = \max_{i=1, M} \mu_D(v_i). \quad (4)$$

В предлагаемой модели критерии q_j имеют различную важность, поэтому каждому критерию присваивается весовой коэффициент α_j , удовлетворяющий условию $\sum_{j=1}^N \alpha_j = 1$.

Весовые коэффициенты будем назначать методом парных сравнений, определяя их как значения координат собственного вектора матрицы парных сравнений [18].

При планировании вариантов маршрутов $v \in V$, считаем, что возникающие ситуации s , способные оказать влияние на формирование маршрута, образующие множество

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}. \quad (5)$$

не известны и на момент планирования не определены.

Очевидно, что значения критерия оптимальности Q для различных ситуаций, определяющих маршруты v_i и v_k будут разным

$$\{q_i(v_i; s_i), s_i \in S\} \neq \{q_j(v_j; s_j), s_j \in S\}. \quad (6)$$

Модель задачи принятия решения при выборе варианта маршрута можно представить кортежем [19]

$$\langle v^*, Q, S, ЛПР \rangle, \quad (7)$$

где ЛПР - лицо принимающее решение.

К настоящему времени выполнено достаточно большое число исследований по интермодальным маршрутам. При этом часть работ посвящено проблемам снижения отрицательного воздействия транспорта на окружающую среду. Отметим, что в наиболее инновационных исследованиях в общие затраты на доставку, которые предлагается минимизировать, включаются затраты на возмещение ущерба нанесенного транспортом внешней и ОС в процессе перевозки в виде платежей или налогов.

Однако, метод учета затрат на нейтрализацию выбросов содержащихся в выхлопных газах не полностью компенсирует вред, наносимый природе. В работе Zhang D. и др. [6] показано, что при использовании этого метода в большинстве случаев интермодальных перевозок, для полного восстановления ОС необходимы более высокие ставки платежей за наносимый ущерб, которые на практике не могут быть применены из за значительного снижения рентабельности перевозок. В качестве альтернативы в некоторых статьях предлагается многоцелевая оптимизация с учетом экологических требований, которая показывает хорошие результаты при выборе компромисса между снижением затрат на перевозки и выбросами в ОС [20].

В качестве критерия оптимальности принята эффективность маршрута, представляющая собой комплексный критерий $\Psi(Q)$, получаемый путем интеграции нескольких нечетких критериев с использованием теории нечетких множеств [17]. Он объединяет в себя нечеткие критерии следующих величин: стоимость доставки груза от двери к двери с учетом подготовительных и заключительных работ, связанных с оформлением и сопровождением перевозки, время доставки, риск доставки, вред наносимый внешней и окружающей средам.

Таким образом, многокритериальная задача сводится к задаче поиска вектора Q , который максимизирует функцию предпочтений ЛПР: $\max \Psi(Q) = \Psi(Q^*) = \Psi^*$

Применим операцию свертки частных критериев оптимальности $\varphi(Q, \alpha)$, которая позволяет свести решение задачи многокритериальной оптимизации (МКО) к решению однокритериальной задачи глобальной условной оптимизации (ОКО-задачи) [15]

$$\min \varphi(Q, \alpha) = \varphi(Q^*, \alpha), Q \in D_Q. \quad (8)$$

Это позволяет свести задачу МКО к задаче поиска вектора $\alpha^* \in D_\alpha$ такого что

$$\max \Psi(\alpha) = \Psi(\alpha^*) = \Psi^*. \quad (9)$$

Для ее решения на опорных и альтернативных маршрутах используется нейро-нечеткая система вывода на основе алгоритма Сугено, представленная на рисунке 1.

Данная система позволяет одновременно использовать базу знаний и обучающую выборку на языке, близком к естественному и может быть реализована в виде нейронной сети, состоящей из пяти слоев. Ее называют адаптивной нейро-нечеткой системой вывода (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS), каждый слой которой имеет определенные функции [9].

После ввода входных параметров в первом слое выполняется их фаззификация, при которой все входные данные преобразуются в формат нечетких переменных. Каждый узел

слоя является адаптивным. Выходы нейронов этого слоя представляют собой гауссовы функции принадлежности входных значений [21].

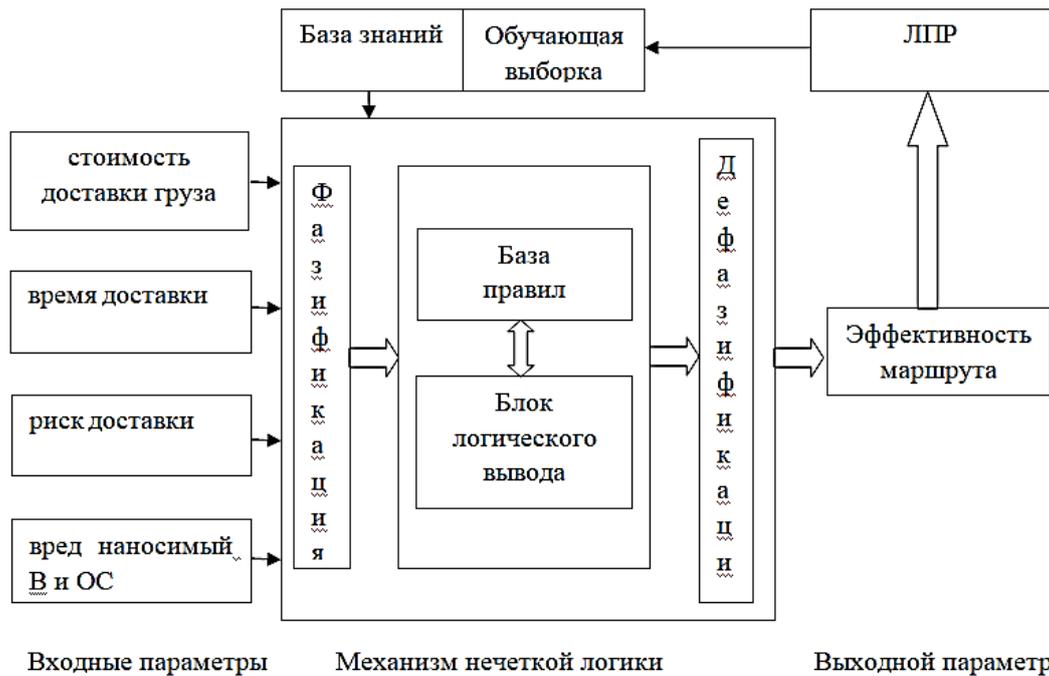


Рисунок 1 - Структура нейро-нечеткой гибридной сети

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - c_j}{\sigma_j}\right)^{2b_j}}, j = 1, \dots, N, \quad (10)$$

где b_j, c_j, σ_j – настраиваемые параметры нормального закона, описывающего функцию принадлежности.

Затем следует этап определения выходных данных, на котором к входным данным применяются заранее определенные операции, позволяющие получить на основе базовых правил логический вывод. Выходами нейронов слоя являются степени истинности посылок каждого j -го правила базы знаний системы, вычисленные по формуле:

$$w_j = \min \left| \mu_{A_j}(x) \right|, j = 1, \dots, 4. \quad (11)$$

Третий шаг - стадия сбора выходных данных и их нормализация. Она заключается в суммировании всех нечетких правил для получения окончательного вывода.

$$\bar{w}_j = \frac{w_j}{\sum w_j}, j = 1, \dots, 4. \quad (12)$$

Адаптивные узлы четвертого слоя рассчитывают вклад каждого нечеткого правила в выход сети по формуле:

$$e_j = \bar{w}_j \sum_{i=1}^M (c_{ji} x_i), j = 1, \dots, 4. \quad (13)$$

И наконец, завершается процесс дефаззификацией, то есть преобразованием нечеткого вывода в его первоначальный вид.

$$e = \sum_{j=1}^4 e_j. \quad (14)$$

Далее следует анализ полученного вывода лицом принимающим решение (ЛПР) об эф-

фактивности маршрута и возможной корректировке обучающей выборки. В процессе обучения, параметры узлов сети настраиваются так, чтобы минимизировать стандартную ошибку

$$\delta = \sqrt{\sum_{t=1}^T ([e^* - e]^2)} \rightarrow \min, \quad (15)$$

где T - число наблюдений в обучающей выборке.

M-функция обучения сети ANFIS для определения параметров функций принадлежности систем нечеткого вывода типа Сугено может использовать алгоритм обратного распространения ошибки или алгоритм гибридного обучения. Обучение параметров функций принадлежности гибридной нейро-нечеткой сети реализовано с применением метода обратного распространения ошибки, основанном на градиентном методе наискорейшего спуска [16].

Результаты

Разработанная методика была реализована в среде Matlab (рис. 2) и апробирована при планировании маршрутов доставки трансформаторной стали ПАО НЛМК в Индию (рис. 3).

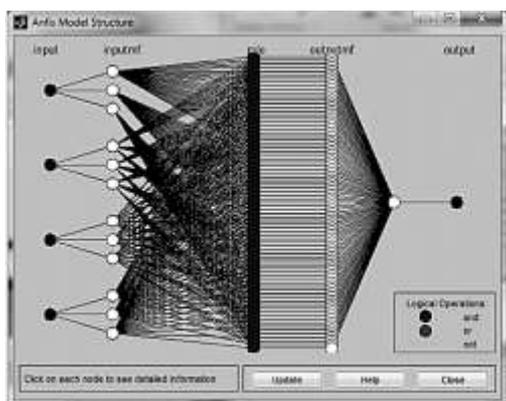


Рисунок 2 - Структура нейро-нечеткой сети ANFIS в Matlab



Рисунок 3 - Результаты оценки эффективности маршрутов доставки стали нейро-нечеткой сетью

Обсуждение

Перевозку трансформаторной стали в Индию ПАО НЛМК осуществляют в контейнерах по мультимодальным маршрутам, которые могут включать в себя автомобильные, железнодорожные и морские треки. В данной работе модель нечеткой логики на основании нескольких критериев маршрута- стоимости доставки груза от двери к двери, времени доставки, риска доставки, вреда наносимый внешней и окружающей средам, вычисляет соответствующий выходной параметр- эффективность маршрута для облегчения процесса принятия решения о выборе маршрута.

Выводы

Эффективное планирование мультимодальных перевозок в настоящее время возможно только с использованием современных информационных систем, позволяющих оптимизировать процесс выбора маршрута доставки и обеспечить стабильность грузопотока по всей логистической цепочке. Оператор мультимодальной перевозки принимает на себя полную ответственность за доставку груза, и должен обладать специальным программным обеспечением, информационными базами данных, современными средствами телекоммуникаций и соответствующим аппаратным обеспечением.

Согласно результатам расчетов наиболее эффективным следует признать маршрут доставки по МТК «Север-Юг», проходящий вдоль западного побережья Каспийского моря через Астарту. Заметим, что количество перегрузок и разный стандарт на ширину железнодорожной колеи также влияет на эффективность маршрута. Тем не менее, контейнерные перевозки позволяют сократить время мультимодальной перевозки, затраты на доставку, снизить риски невыполнения обязательств и вред наносимый внешней и ОС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Палагин Ю.И. Транспортная логистика и мультимодальные перевозки. Технологии, оптимизация, управление. СПб.: Политехника, 2015. С. 266.
2. Ворона А.А., Колпаков Д.А. Тенденции и перспективы развития бесшовной мультимодальной логистики // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. №2.

3. Глинский В.А., Присяжная А.И. Бесшовная грузовая логистика - ключевое направление транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года // Логистические системы в глобальной экономике. 2022. №12. С. 75-79
4. Фараонов А.В. Нечеткое ситуационное моделирование планирования и оперативного управления выбора маршрута доставки // Менеджмент в России и за рубежом. 2013. №6. С. 84-90.
5. Мороз Е.О. Совершенствование проектирования транспортно-логистических систем на основе имитационного моделирования // Вестник молодежной науки. 2020. №2(24).
6. Zhang D., He R., Li S., Wang Z. A multimodal logistics service network design with time windows and environmental concerns [Электронный ресурс]. 2017. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185001>.
7. Дмитриев А.В. Управление транспортно-логистическими системами в условиях цифровизации // Известия СПбГЭУ. 2020. №2(122).
8. Дмитриев А.В. Цифровые информационные технологии в экосистемах транспортно-логистического обслуживания: монография. СПб.: СПбГЭУ, 2021. 160 с.
9. Рогозин О.В. Оценка инновационной привлекательности проекта с использованием нейро-нечеткого адаптивного программного комплекса // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2012. С. 26-38.
10. J.I.-Z. Chen and J.-T. Chang. Route Choice Behaviour Modeling using IoT Integrated Artificial Intelligence. J. Artif. Intell. Capsul. Netw. Vol. 2. №4. 2021. doi: 10.36548/jaicn.2020.4.006.
11. N. Koohathongsumrit, W. Chankham Route Selection in Multimodal Supply Chains: A Fuzzy Risk Assessment Model-BWM-MARCOS Framework. Appl. Soft Comput. Vol. 137. 110167. 2023. doi: j.asoc.2023. 110167.
12. Vorona A.A., Istomin L., Kalmykov S., Lyashenko M. Process chart for customs logistics optimization // X International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2022. Сер. «Transportation Research Procedi». 2022. P. 1891-1898. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.207.
13. Сеницына А.С., Некрасов А.Г. Бесшовность и интеллектуальная мобильность интермодальных транспортно-логистических систем // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2022. №2(24). С. 163-175. DOI:10.36718/2500-1825-2022-2-163-175.
14. Дудник Т.А. Цифровая логистика и SCM: работа в условиях неопределенности среды // Экономическое развитие региона: управление, инновации, подготовка кадров. 2020. №7. С. 130-135.
15. Карпенко А.П., Мухлисулина Д.Т. Адаптивный метод решения многокритериальной задачи оптимизации на основе аппроксимации функции предпочтения лица, принимающего решения // Электронное научно-техническое издание: наука и образование. 2012. №9.
16. Кузькин А.А. Оценивание показателей эффективности и результативности ИТ-процессов с использованием гибридных нейро-нечетких сетей // Интернет-журнал «Науковедение». Вып. 1. 2014.
17. Ермаков С.А., Болгов А.А. Оценка риска с использованием нейро-нечеткой системы // Информация и безопасность. 2022. Т. 25. Вып. 4. С. 583-592.
18. Гулый И.М. Мультиагентная модель оценки эффектов внедрения цифровой платформы мультимодальных перевозок грузов в контейнерах // Креативная экономика. 2021. Том 15. №12. С. 4883-4898. doi: 10.18334/ce.15.12.114108.
19. Болгов А.А. Оценка риска с использованием адаптивной нейро-нечеткой системы вывода // Информация и безопасность. 2022. Т. 25. Вып. 4. С. 521-530.
20. Интеллектуальные методы управления транспортными системами: Монография / А.С. Сысоев, С.А. Ляпин, А.В. Галкин, Ю.Н. Ризаева и др. Москва: Дашков и К. 2023. 192 с.
21. Чернов В.Г. Нечеткие множества. Основы теории и применения: Учебное пособие. Владимир: ВлГУ, 2018. 156 с.

Ляпин Сергей Александрович

Липецкий государственный технический университет

Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30

Д.т.н., доцент, профессор кафедры управления автотранспортом, E-mail: lyapinserg2012@yandex.ru**Кадасев Дмитрий Анатольевич**

Липецкий государственный технический университет

Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30

К.т.н., доцент, директор института машиностроения и транспорта

E-mail: kadasev_da@stu.lipetsk.ru**Дмитриев Семен Анатольевич**

Липецкий государственный технический университет

Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30

К.т.н., и.о. заведующего кафедрой управления автотранспортом

E-mail: dmitriev_sa@stu.lipetsk.ru

S.A. LYAPIN, D.A. KADASEV, S.A. DMITRIEV

PLANNING OF MULTIMODAL TRANSPORTATION IN CONDITIONS OF SANCTIONS AND THE EMERGENCE OF AREAS WITH DANGEROUS CONDITIONS FOR TRAFFIC

Abstract. *The issues of planning multimodal transportation routes in conditions of sanctions and the emergence of areas with dangerous conditions for the movement of vehicles are considered. The problems that arise for the operator organizing the delivery of cargo due to the closure of some sections of international transport corridors are outlined. A method for optimal solution of this problem using a combination of fuzzy logic and artificial neural networks is proposed.*

Keywords: *multimodal transportation, mathematical model, fuzzy logic, neural networks*

BIBLIOGRAPHY

1. Palagin Yu.I. Transportnaya logistika i mul'timodal'nye perevozki. Tekhnologii, optimizatsiya, upravlenie. SPb.: Politekhnik, 2015. S. 266.
2. Vorona A.A., Kolpakov D.A. Tendentsii i perspektivy razvitiya besshovnoy mul'timodal'noy logistiki // Vestnik evraziyskoy nauki. 2023. T. 15. №2.
3. Glinskiy V.A., Prisyazhnaya A.I. Besshovnaya gruzovaya logistika - klyuchevoe napravlenie transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda // Logisticheskie sistemy v global'noy ekonomike. 2022. №12. S. 75-79
4. Faraonov A.V. Nechetkoe situatsionnoe modelirovanie planirovaniya i operativnogo upravleniya vybora marshruta dostavki // Menedzhment v Rossii i za rubezhom. 2013. №6. S. 84-90.
5. Moroz E.O. Sovershenstvovanie proektirovaniya transportno-logisticheskikh sistem na osnove imitatsionnogo modelirovaniya // Vestnik molodezhnoy nauki. 2020. №2(24).
6. Zhang D., He R., Li S., Wang Z. A multimodal logistics service network design with time windows and environmental concerns [Elektronnyy resurs]. 2017. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185001>.
7. Dmitriev A.V. Upravlenie transportno-logisticheskimi sistemami v usloviyakh tsifrovizatsii // Izvestiya SPbGEU. 2020. №2(122).
8. Dmitriev A.V. Tsifrovyye informatsionnyye tekhnologii v ekosistemakh transportno-logisticheskogo obsluzhivaniya: monografiya. SPb.: SPBGEU, 2021. 160 s.
9. Rogozin O.V. Otsenka innovatsionnoy privlekatel'nosti proekta s ispol'zovaniem neyro-nechetkogo adaptivnogo programmnoy kompleksa // Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. «Priborostroenie». 2012. S. 26-38.
10. J.I.-Z. Chen and J.-T. Chang. Route Choice Behaviour Modeling using IoT Integrated Artificial Intelligence. J. Artif. Intell. Capsul. Netw. Vol. 2. №4. 2021. doi: 10.36548/jaicn.2020.4.006.
11. N. Koohathongsumrit, W. Chankham Route Selection in Multimodal Supply Chains: A Fuzzy Risk Assessment Model-BWM-MARCOS Framework. Appl. Soft Comput. Vol. 137. 110167. 2023. doi: j.asoc.2023. 110167.
12. Vorona A.A., Istomin L., Kalmykov S., Lyashenko M. Process chart for customs logistics optimization // X International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2022. Ser. «Transportation Research Procedi». 2022. R. 1891-1898. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.207.
13. Sinitsyna A.S., Nekrasov A.G. Besshovnost' i intellektual'naya mobil'nost' intermodal'nykh transportno-logisticheskikh sistem // Sotsial'no-ekonomicheskii i gumanitarnyy zhurnal. 2022. №2(24). S. 163-175. DOI:10.36718/2500-1825-2022-2-163-175.
14. Dudnik T.A. Tsifrovaya logistika i SCM: rabota v usloviyakh neopredelennosti sredy // Ekonomicheskoe razvitiye regiona: upravlenie, innovatsii, podgotovka kadrov. 2020. №7. S. 130-135.
15. Karpenko A.P., Mukhlisullina D.T. Adaptivnyy metod resheniya mnogokriterial'noy zadachi optimizatsii na osnove approksimatsii funktsii predpochteniya litsa, primimayushchego resheniya // Elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie: nauka i obrazovanie. 2012. №9.
16. Kuzkin A.A. Otsenivanie pokazateley effektivnosti i rezul'tativnosti IT-protsessov s ispol'zovaniem gibridnykh neyro-nechetkikh setey // Internet-zhurnal «Naukovedenie». Vyp. 1. 2014.
17. Ermakov S.A., Bolgov A.A. Otsenka riska s ispol'zovaniem neyro-nechetkoy sistemy // Informatsiya i bezopasnost'. 2022. T. 25. Vyp. 4. S. 583-592.
18. Guly I.M. Mul'tiagentnaya model' otsenki effektivnosti vnedreniya tsifrovoy platformy mul'timodal'nykh perevozok gruzov v konteynerakh // Kreativnaya ekonomika. 2021. Tom 15. №12. S. 4883-4898. doi: 10.18334/ce.15.12.114108.
19. Bolgov A.A. Otsenka riska s ispol'zovaniem adaptivnoy neyro-nechetkoy sistemy vyvoda // Informatsiya i bezopasnost'. 2022. T. 25. Vyp. 4. S. 521-530.
20. Intellektual'nyye metody upravleniya transportnymi sistemami: Monografiya / A.S. Sysoev, S.A. Lyapin, A.V. Galkin, Yu.N. Rizaeva i dr. Moskva: Dashkov i K. 2023. 192 s.
21. Chernov V.G. Nechetkie mnozhestva. Osnovy teorii i primeneniya: Uchebnoe posobie. Vladimir: VIGU, 2018. 156 s.

Lyapin Sergey Alexandrovich
Lipetsk State Technical University
Address: 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398055, Russia
Doctor of technical sciences
E-mail: lyapinserg2012@yandex.ru

Dmitriev Semen Anatolyevich
Lipetsk State Technical University
Address: 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398055, Russia
Candidate of technical sciences
E-mail: dmitriev_sa@stu.lipetsk.ru

Kadasev Dmitry Anatolyevich
Lipetsk State Technical University
Address: 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398055, Russia
Candidate of technical sciences
E-mail: kadasev_da@stu.lipetsk.ru

Научная статья

УДК 656.022.81

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-20-25

Е.Н. КОЖАНОВ, М.И. МАЛЫШЕВ, И.Ч. АСХАБАЛИЕВ

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО КОРИДОРА ЧЕРЕЗ МОНГОЛИЮ И ЗАПАДНЫЙ КИТАЙ

***Аннотация.** Рассматриваются процессы формирования транспортного сообщения Центрально-Евразийского региона. Выполнен анализ состояния стандартизированной международной инфраструктуры транспортировки и логистики на основе мультимодального транзитного пути, проходящего через территории России, Монголии и Западного Китая. Предложена расчетная схема работы транспортного узла при взаимодействии двух различных видов магистрального транспорта. Выбрана математическую модель развития транспортного узла в составе мультимодального коридора.*

***Ключевые слова:** комплексные транспортные системы, международные мультимодальные коридоры, Китай-Монголия-Россия, управление и проектирование на транспорте, развитие международного сообщения*

Введение

В настоящее время мировая экономика переживает период интенсивных изменений, касающихся в том числе общей структуры международных связей, основ сотрудничества и логистических транспортных систем.

При сложившихся условиях и с учетом особенностей внешних факторов, оказывающих влияние на транспорт различных стран, важно создавать и развивать региональные мультимодальные транспортные коридоры [1]. При этом транспортный коридор включает различные виды магистрального транспорта с путями сообщения, складской инфраструктурой, предприятиями сервиса и обслуживания, а также системы управления, связи, документооборота и др. [2].

В результате формируется комплексная транспортная система, которая должна обеспечить безопасность и надежность перевозок, минимизировать риски, и соответствовать другим современным требованиям и интересам государств-участников мультимодального коридора, потребителям услуг транспорта и самим перевозчикам [3].

Именно необходимостью развития эффективной и унифицированной транспортной системы Центрально-Евразийском регионе обусловлена актуальность темы настоящего исследования.

Цель данного исследования заключается в анализе процесса формирования комплексной транспортной системы и разработке рекомендаций для создания стандартизированной международной инфраструктуры транспортировки и логистики на основе мультимодального транзитного пути, проходящего через Центрально-Евразийский регион, а именно территорию Монголии и Западного Китая.

Задачи исследования включают выявление составляющих транспортной системы, описание ее структуры, установление особенностей взаимодействия участников транспортно-технологической системы. Для достижения поставленных задач необходимо проанализировать составляющие элементы и определить факторы, оказывающие влияние на функционирование транспортно-технологической системы. Провести анализ основных препятствий и ограничений, возможных при функционировании транспортного коридора. В результате предложить мероприятия и инструменты для улучшения процесса формирования комплексной транспортной системы.

Несмотря на различные сложности, за последние 20 лет был замечен значимый прогресс в области развития и обновления транспортной инфраструктуры рассматриваемого региона [4]. Это относится к работам по строительству, включая проекты Азиатской сети автомобильных дорог и Трансазиатской железнодорожной сети. Количество перевозок пассажиров и

грузов значительно увеличилось, улучшив при этом доступность транспорта для жителей. Посредством ускорения и удешевления транспортировки грузов, обеспеченных гладким, бесшовным и эффективным перемещением товаров и товарных потоков, возможно повысить привлекательность данного направления для всех заинтересованных лиц и стран участниц [5].

Материал и методы

Для всестороннего исследования научной задачи применялись следующие методологические подходы: индуктивный и дедуктивный методы, а также аналитические и синтетические процессы, включая системный анализ. Использована математическая модель развития транспортного узла в составе мультимодального коридора.

Теория и расчет

Транспортная система Евразии предоставляет уникальные возможности для соединения международных транспортных коридоров, пересекающих Центральную Азию, что способствует разнообразию логистических решений для государств этого района [6]. Вклад международных программ и проектов в области улучшения торгово-транспортной инфраструктуры оказывает существенное влияние на прогресс транспортного сектора и экономических отношений стран Центральной Азии [7].

В связи с изменением глобальных логистических маршрутов формируется потребность в транспортных магистралях, расположенным на востоке страны [8]. Это в том числе и маршруты транзита через территорию Монголии в Китай, и другие государства [9].

Важной составляющей инфраструктуры формирующихся мультимодальных коридоров является Трансмонгольская железная дорога и другие возможные транспортные пути, которые могут быть востребованы в данном направлении.

Потребность в развитии транспортной инфраструктуры на границах России, Монголии и Китая проявляется уже длительное время. Такие обсуждения стали более активными после запуска Китаем инициативы создания Экономического пояса Шелкового пути [10].

Для реализации транспортного коридора в этом направлении были выбраны два ключевых проекта: всеобъемлющая модернизация Центрального железнодорожного маршрута (Улан-Удэ – Наушки – Улан-Батор – Эрлянь – Пекин – Тяньцзинь) и усовершенствование автомобильного транспортного сообщения по трассе АН-3 из сети Азиатских шоссе (Улан-Удэ – Кяхта – Улан-Батор – Эрлянь – Тяньцзинь).

Обновление Центрального железнодорожного коридора предусматривает строительство дополнительной колеи и электрификацию Трансмонгольской магистрали. Несмотря на то, что данный проект имеет приоритетное значение, прогресс в его реализации оставляет желать лучшего. Тем временем, объемы грузоперевозок по этому направлению стабильно увеличиваются, что связано со всемирным трендом использования контейнеров для перевозки товаров.

Развитие привлекательности маршрута через Монголию для трансконтинентальных грузоперевозок тормозится из-за недостаточной пропускной способности основной дороги и требует изменений в инфраструктуре. В то время как планы на модернизацию Центрального железнодорожного коридора находятся в стадии разработки технико-экономического обоснования, обсуждение целесообразности строительства новых восточных коридоров продолжается.

При анализе уровня сложности задач, связанных с проектированием внешнего вида и мощностных характеристик транспортной системы, под мощностью мультимодальных транспортных узлов (ММТУ) понимается совокупность элементов транспортной системы, их параметров, способов и технологии переработки грузов, позволяющая осваивать определенные объемы перевозок грузов и пассажиров на расчетные сроки [12]. Создание системной модели объекта исследования, выявление взаимосвязей и определяющих факторов, которые оказывают влияние на прогнозы изменения системы ММТУ, позволило на основе передового опыта в области разработки транспортных систем разработать схему для расчета работы ММТУ (рис. 1) [13].

На основе расчетной схемы работы ММТУ, изображенной на рисунке 1, и содержательной постановки задачи, можно сформировать математическую модель развития транспортного узла в составе мультимодального коридора, где требуется из множества возможных альтернатив выбрать такую, на которой достигается $\min 3$ [15]:

$$\min Z = \min \sum_{t=0}^T (K_i + C) a_i X_i$$

где X_i – целочисленная переменная, являющаяся параметром управления при формировании стратегий развития узла, которая принимается равной 1, если элемент или мероприятие входят в систему, или 0, если не входят.

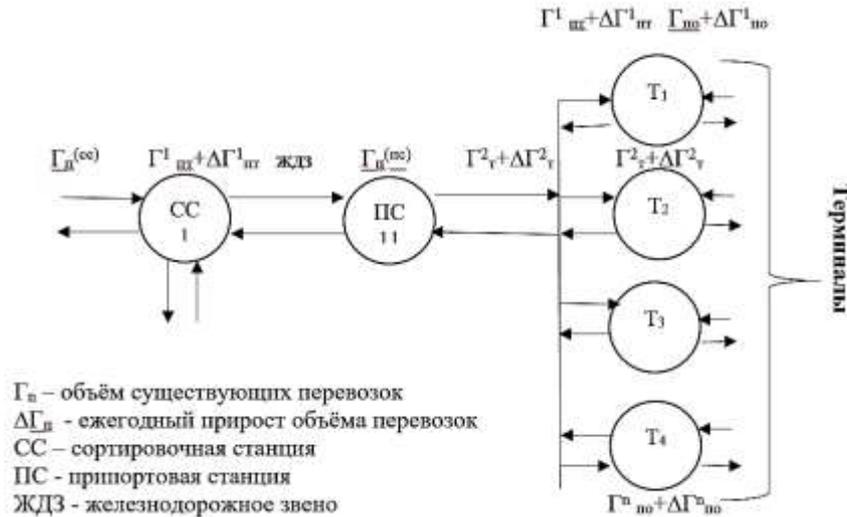


Рисунок 1 – Расчетная схема работы ММТУ при взаимодействии двух различных видов магистрального транспорта [14]

Приведенная математическая модель, справедливость которой проверена при разработке теоретических проектов, позволяет осуществлять поиск возможных альтернатив при взаимодействии различных элементов комплексной транспортной системы.

Результаты и обсуждение

Принимаемые на межгосударственном уровне концепции транспортного развития в зонах экономического сотрудничества зачастую предполагают строительство и модернизацию транспортной инфраструктуры в этих зонах, а также их потенциальное расширение. Контроль за развитием транспорта в этих экономических регионах проводится согласно меморандумам о взаимопонимании и договорённостям о транспортных магистралях.

К настоящему времени необходимость управления формированием и функционированием транспортных систем ощущается в странах Европы и Азии, в том числе России, активно участвующей в этом процесс. Это повлекло за собой осознание особой актуальности задач по определению видов транспортных связей для интеграции их в структуру коридоров.

Начальным этапом создания комплексной транспортной системы является планирование ключевых направлений пассажира и грузопотоков. На определенных в результате планирования направлениях на основе существующих путей и дорог местного значения или на ранее неосвоенной территории создается транспортная инфраструктура международного уровня и осуществляется усовершенствование процесса организации и регулирования системы международных транспортных коридоров.

Центрально азиатским государствам сложнее добраться до мировых рынков, поскольку для этого необходимо пересекать территории других стран. Из-за негативного влияния внешних факторов транспортировка товаров из мест производства в Азии на рынок России и других стран евразийского пространства усугубляется высокими транспортными расходами. В результате недостаточной транспортной интеграции производители и участники транспортно-логистических процессов сталкиваются с ограничениями в доступности международных рынков в пределах региона. Таким образом государства, не обеспечившие сообщение на уровне региональных транспортных систем, сталкиваются с препятствиями, негативно влияющими на устойчивое социально-экономическое развитие.

Определив факторы, тормозящие развитие Центрально-Евразийского мультимодаль-

ного коридора и обозначив перспективы данного проекта, можно определить необходимые меры, которые следует принять уже на стадии формирования региональной системы.

Для достижения сбалансированного прогресса для стран Центральной Азии необходимо не только обновлять и расширять транспортную сеть, но и активно работать над упрощением процессов транспортировки и ускорением прохождения границ. Это подразумевает улучшение «мягкой» инфраструктуры, которая включает в себя нормативное регулирование и административные процессы. Также крайне важно развивать цифровую трансформацию в сферах транспорта и логистики, что позволит создать условия для бесперебойных перевозок благодаря использованию передовых технологий.

По итогам исследования международной комплексной транспортно-технологической системы и процесса создания Центрально-Евразийского мультимодального коридора через Монголию и Западный Китай можно выделить факторы, которые препятствуют активной реализации проекта.

Существует риск того, что слабая инфраструктура Монголии в современном ее состоянии не сможет обеспечить пропуск и переработку необходимого объема пассажиро и грузопотока. Многообразие интересов стран Центрально-Евразийского региона, преследующих свои экономические, политические и социальные цели, может привести к противоречиям в вопросах распределения расходов на содержание инфраструктуры, сложностям с унификацией законодательства и другим осложнениям с формированием надежной региональной транспортной системы. Необходимо проводить дальнейшие исследования различных аспектов проблематики транспортных систем в Центральной Азии. Важно на стадии формирования комплексной транспортной системы оценить серьезность определенных угроз для безопасности и с учетом полученных оценок скорректировать внешнеполитическую стратегию России в данном регионе.

Выводы

Происходящая смена парадигм требует оценки того, как глобальные вызовы современности и геополитическая обстановка влияют на потенциальные опасности для развития Центрально-Евразийского мультимодального коридора, и выработки способов снижения этих рисков. Внешние факторы негативно сказываются не только на экономике страны, но и затрудняют процесс формирования транспортных систем в рамках евразийского пространства.

Оценка стоимости такой транспортно-технологической системы сложна из-за значительно количества составляющих элементов и многообразия связей. В целях максимально возможного использования потенциала Центрально-Евразийского мультимодального коридора через Монголию и Западный Китай и повышения его конкурентоспособности в сравнении с другими транспортными узлами необходимо единовременное решение комплекса задач на уровне регионального и межрегионального развития, включая приграничное сотрудничество. Важно реализовать производственный и торговый потенциал региона путем инфраструктурного развития и реализации транспортно-логистического потенциала.

В процессе изучения ключевых задач, связанных с развитием транспортного сообщения центрально-евразийского направления, необходимо определить основы для выработки стратегии сотрудничества между Россией, Монголией и Китаем в области перевозок грузов. Проекты создания международных железнодорожных магистралей экономического коридора «Китай-Монголия-Россия» должны учитывать особенности формирования современных транспортных систем. Отдельное внимание стоит уделить оценке предстоящих изменений, структуре и направлениям грузоперевозок. В части основных объектов транспортного коридора можно выделить недостаточно развитую инфраструктуру Монголии. Россией и Китаем должно быть подготовлено предложение по улучшению состояния железнодорожной сети на территории Монголии.

Анализируя структурное формирование международной транспортно-логической инфраструктуры, можно констатировать, что при проектировании транспортного коридора, в том числе через территорию Монголии и западного Китая, необходимо использовать различные управленческие и технологические подсистемы, в том числе интеллектуальные и киберфизические. Это обеспечит не только согласованное управление предприятиями транспорта, но и согласованную деятельность всех участников транспортно-логистического про-

цесса, задействованных видов транспорта, терминальных, информационных и других сложноорганизованных технических комплексов.

Преимущества Центрально-Евразийского мультимодального коридора заключаются в уменьшении зависимости от альтернативных маршрутов, которые потенциально могут быть закрыты для использования, усилении национальной безопасности и независимости России, способствовании евразийской интеграции и расширении дипломатических отношений с азиатскими странами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедева Н.А. Формирование области эффективных альтернатив изменения облика и мощности мультимодальных транспортных узлов на основе системного подхода. 2009.
2. Малышев М.И. Комплексная транспортная система КНР и взаимосвязь пяти целей развития железнодорожного транспорта // Россия и Китай: проблемы стратегического взаимодействия: сборник Восточного центра. 2023. №26. С. 127-130. EDN КМСАЕИ.
3. Бондаренко Н.В., Лебедева Н.А. Концепция формирования области эффективных альтернатив этапного развития облика и мощности мультимодального транспортного узла припортового региона Дальневосточного Приморья для пропуска контейнерного транзита // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2015. №3. С. 71-76. EDN VCVRVH.
4. Подберёзкина О.А. Транспортные коридоры в российских интеграционных проектах (на примере ЕАЭС) // Вестник МГИМО Университета. 2015. №1(40). С. 57-65.
5. Quim A.S.M.A. The Asian Highway and Trans-Asian Railway networks: Origins, progress of development and prospects in the future // Routledge handbook of transport in Asia. Routledge. 2018. С. 44-60.
6. Кортунов А. и др. Российско-китайский диалог: модель 2022 // Российский совет по международным делам, Институт Дальнего Востока РАН. 2022.
7. Quim A.S.M.A. Trans-Asian Railway networks // Routledge Handbook of Transport in Asia. 2018. С. 44.
8. Филиппова Н.А., Ефименко Д.Б., Ледовский А.А. Обеспечение эффективности транспортных процессов в районах Крайнего Севера // Мир транспорта. 2018. Т. 16. №4. С. 150-159.
9. Мехдиев Э.Т. Евразийские транспортные коридоры и ЕАЭС // Международная аналитика. 2018. №2. С. 47-56.
10. Фролова И.Ю. Китайский проект «Экономический пояс Шелкового пути»: развитие, проблемы, перспективы // Проблемы национальной стратегии. 2016. Т. 5. С. 38.
11. Беляев В.М., Филиппова Н.А. Основы организации транспортной системы северных регионов // Мир транспорта. 2017. Т. 15. №1. С. 162-167.
12. Нестерова Н.С., Гончарук С.М. Методика формирования региональных мультимодальных транспортных коридоров как элементов мультимодальной транспортной сети (на примере малоосвоенных районов Дальнего Востока и северо-востока) // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2013. №1. С. 52-65.
13. Бондаренко Н.В., Лебедева Н.А., Гончарук С.М. Особенности, актуальность и пути решения проблемы развития облика и мощности мультимодального транспортного узла припортового региона Дальнего Востока для пропуска контейнерного транзита // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2015. №3. С. 77-85. EDN VCVRVH.
14. Лебедева Н.А., Гончарук С.М., Шварцфельд В.С. Методика формирования области эффективных альтернатив этапного развития мультимодального транспортного узла // Особенности проектирования и строительства железных дорог в условиях Дальнего Востока. 2009. С. 80-93.
15. Нестерова Н.С. и др. Совершенствование классификации облика транспортных систем с учетом неопределенности технического состояния их элементов // ББК О 20я54. 2011. С. 6.

Кожанов Евгений Николаевич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64
Магистрант, E-mail: 888like@mail.ru

Малышев Максим Игоревич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64
К.т.н., доцент кафедры «Менеджмент», E-mail: dicorus@mail.ru

Асхабалиев Ибрагимхалил Чупанович

Дагестанский государственный университет, филиал в г. Хасавюрте
Адрес: 368009, Россия, г. Хасавюрт, ул. А. Абукова (Аксаевская), 36
К.т.н., доцент, доцент кафедры «Экономические дисциплины», E-mail: ibramadi@yandex.ru

E.N. KOZHANOV, M.I. MALYSHEV, I.C. ASKHABALIYEV

FORMATION OF AN INTEGRATED TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEM BASED ON A MULTIMODAL CORRIDOR THROUGH MONGOLIA AND WESTERN CHINA

Abstract. *The processes of formation of transport communication in the Central Eurasian region are considered. The analysis of the state of standardized international transportation and logistics infrastructure based on a multimodal transit route passing through the territories of Russia, Mongolia and Western China is carried out. A design scheme for the operation of a transport hub in the interaction of two different types of mainline transport is proposed. A mathematical model of the development of a transport hub as part of a multimodal corridor has been chosen.*

Keywords: *integrated transport systems, international multimodal corridors, China-Mongolia-Russia, transport management and design, development of international communication*

BIBLIOGRAPHY

1. Lebedeva N.A. Formirovanie oblasti effektivnykh al'ternativ izmeneniya oblika i moshchnosti mul'timodal'nykh transportnykh uzlov na osnove sistemnogo podkhoda. 2009.
2. Malyshev M.I. Kompleksnaya transportnaya sistema KNR i vzaimosvyaz` pyati tseley razvitiya zheleznodorozhnogo transporta // Rossiya i Kitay: problemy strategicheskogo vzaimodeystviya: sbornik Vostochnogo tsentra. 2023. №26. S. 127-130. EDN KMCAEI.
3. Bondarenko N.V., Lebedeva N.A. Kontseptsiya formirovaniya oblasti effektivnykh al'ternativ etapnogo razvitiya oblika i moshchnosti mul'timodal'nogo transportnogo uzla priportovogo regiona Dal'nevostochnogo Primor'ya dlya propuska konteynernogo tranzita // Proektirovanie razvitiya regional'noy seti zheleznykh dorog. 2015. №3. S. 71-76. EDN VCVRVH.
4. Podberiozskina O.A. Transportnye koridory v rossiyskikh integratsionnykh proektakh (na primere EAES) // Vestnik MGIMO Universiteta. 2015. №1(40). S. 57-65.
5. Quium A.S.M.A. The Asian Highway and Trans-Asian Railway networks: Origins, progress of development and prospects in the future // Routledge handbook of transport in Asia. Routledge. 2018. S. 44-60.
6. Kortunov A. i dr. Rossiysko-kitayskiy dialog: model` 2022 // Rossiyskiy sovet po mezhdunarodnym delam, Institut Dal'nego Vostoka RAN. 2022.
7. Quium A.S.M.A. Trans-Asian Railway networks // Routledge Handbook of Transport in Asia. 2018. S. 44.
8. Filippova N.A., Efimenko D.B., Ledovskiy A.A. Obespechenie effektivnosti transportnykh protsessov v rayonakh Kraynego Severa // Mir transporta. 2018. T. 16. №4. S. 150-159.
9. Mekhdiev E.T. Evroaziatskie transportnye koridory i EAES // Mezhdunarodnaya analitika. 2018. №2. S. 47-56.
10. Frolova I.YU. Kitayskiy proekt «Ekonomicheskii poyas Shelkovogo puti»: razvitie, problemy, perspektivy // Problemy natsional'noy strategii. 2016. T. 5. S. 38.
11. Belyaev V.M., Filippova N.A. Osnovy organizatsii transportnoy sistemy severnykh regionov // Mir transporta. 2017. T. 15. №1. S. 162-167.
12. Nesterova N.S., Goncharuk S.M. Metodika formirovaniya regional'nykh mul'timodal'nykh transportnykh koridorov kak elementov mul'timodal'noy transportnoy seti (na primere maloosvoennykh rayonov Dal'nego Vostoka i severo-vostoka) // Proektirovanie razvitiya regional'noy seti zheleznykh dorog. 2013. №1. S. 52-65.
13. Bondarenko N.V., Lebedeva N.A., Goncharuk S.M. Osobennosti, aktual'nost` i puti resheniya problemy razvitiya oblika i moshchnosti mul'timodal'nogo transportnogo uzla priportovogo regiona Dal'nego Vostoka dlya propuska konteynernogo tranzita // Proektirovanie razvitiya regional'noy seti zheleznykh dorog. 2015. №3. S. 77-85. EDN VCVRVR.
14. Lebedeva N.A., Goncharuk S.M., SHvartsfel'd V.S. Metodika formirovaniya oblasti effektivnykh al'ternativ etapnogo razvitiya mul'timodal'nogo transportnogo uzla // Osobennosti proektirovaniya i stroitel'stva zheleznykh dorog v usloviyakh Dal'nego Vostoka. 2009. S. 80-93.
15. Nesterova N.S. i dr. Sovershenstvovanie klassifikatsii oblika transportnykh sistem s uchetom neopredelennosti tekhnicheskogo sostoyaniya ikh elementov // BBK O 20ya54. 2011. S. 6.

Kozhanov Evgeny Nikolaevich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64
Master's student, E-mail: 888like@mail.ru

Malyshev Maxim Igor'evich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64
Candidate of technical sciences
E-mail: dicorus@mail.ru

Askhabaliyev Ibragimkhalil Chupanovich

Dagestan State University, branch in the city of Khasavyurt
Address: 368009, Russia, Khasavyurt, A. Abukova str. (Aksayevskaya), 36
Candidate of technical sciences
E-mail: ibramadi@yandex.ru

Научная статья

УДК 339.9, 625.1, 351.88

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-26-31

С.В. ЕРЕМИН

ГЛОБАЛЬНЫЕ МИРОВЫЕ ТОРГОВО - ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ - ПРЕДПОСЫЛКИ К РЕИНЖИНИРИНГУ ТРАНСНАЦИОНАЛЬНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА)

***Аннотация.** В статье рассмотрены актуальные вопросы современной национальной и транснациональной системы перемещения товаров и грузов. На примере транспортировки генеральных сырьевых грузов по широтному направлению Сибирь - Дальний Восток предложены варианты создания альтернативных грузораспределительных узлов с системой меридианных коридоров. Проведены попытки интеграции задач стратегического развития транспортного комплекса страны до 2030 года с задачами экономической диверсификации внутренней экономики и перераспределения товарной логистики.*

***Ключевые слова:** транснациональные транспортные коридоры (коммуникации), транспортно-логистические операции, реинжиниринг логистических коммуникаций, меридианные транспортные коридоры, безлимитная инфраструктура, грузоперевозки, северный морской путь*

Введение

Современные геополитические и макроэкономические условия претерпевают глобальные изменения. Вместе с этими процессами, как элемент первичной производной, изменяется логистическая конфигурация грузопотоков. Их континентальная евразийская переориентация с запада на восток и севера на юг потребовала ускоренного развития новых международных коридоров. В свою очередь, диверсификация транспортных коридоров имеет также принципиальное значение для обеспечения экономической и геополитической безопасности России.

Существующие устойчивые транснациональные транспортные коридоры Турецкого, Суэцкого, Европейского направлений находятся в ситуации периодических и системных кризисных колебаниях, в первую очередь в результате последствий геополитических отношений в мире.

Материал и методы

Для анализа баланса провозных способностей и поиска наиболее эффективных решений по развитию базовой инфраструктуры целесообразно обратиться к структуре перевозок по видам транспорта в глубоком временном периоде (> 20 лет). Это необходимо для того, чтобы иметь возможность сфокусировать внимание на структуре перевозок в зависимости от экономического состояния государства. Выборочные данные с 5-ти летним шагом представлены в таблице 1 [1]. Временная динамика в структуре перевозок свидетельствует, что колебания экономики практически не влияют на объёмы перевозок. Каждый вид транспорта находится в своей доленой погрешности, конкурируя за массовые объёмы только на уровне автомобильного и железнодорожного транспорта.

В свою очередь, основной объём железнодорожных перевозок экспортно-импортных грузов сместился на Восток. Как следствие восточный полигон ОАО «РЖД» существенно перегружен, и его пропускные способности явно не соответствуют потребностям российской экономики [2].

Таблица 1 - Структура перевозок грузов по видам транспорта по РФ, %

Годы	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Транспорт - всего	100	100	100	100	100	100
в т.ч.						
железнодорожный	13,2	13,9	16,9	16,8	17,1	15,5
воздушный	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
автомобильный	74,4	73,0	67,6	67,8	67,9	70,7
водный	1,9	1,7	1,8	1,8	1,7	1,6
трубопроводный	10,5	11,4	13,7	13,6	13,3	12,2

Именно поэтому в данный момент времени в России безусловный приоритет отдаётся увеличению пропускной способности восточного полигона железной дороги. Однако, уже очевидно, что его провозных способностей, с учётом дальнейших тенденций переориентации вектора грузопотока на альтернативные страны, не хватает. При росте пропускной способности железнодорожного сообщения Транссибирской дороги и Байкало- Амурской магистрали, остаётся огромным профицит недопоставленных ресурсов на экспорт. В 2023 году провозная способность восточного полигона составила 173 млн. тонн, тогда, как потребность грузоотправителей - 353 млн. тонн [3].

Если проанализировать базовый государственный сценарий развития железных дорог восточной части России, то несмотря на прогрессирующий ежегодный рост грузопотока, можно сделать вывод, что максимальная его мощность кратно отличается от запроса рынка. На рисунке 1 приведён фрагмент из отчёта министерства транспорта Российской Федерации «Об итогах работы в 2023 году и планах развития отрасли на 2024 год», показывающий динамику прироста провозной способности восточного полигона в соответствии с Указом Президента РФ от 07.05.2018 года №204. При этом следует подчеркнуть, что данный параметрический ряд задач формировался до пандемийного и санкционного периодов.



Рисунок 1 - Провозная способность восточного полигона

При анализе провозных способностей восточного направления также целесообразно принимать во внимание видовой состав грузов. Это очень важная компонента для системного планирования экономического и промышленного потенциала страны. В настоящее время на государственной повестке решения находится задача первого уровня - проталкивание генеральных грузов, преимущественно угля, от мест добычи на морские восточные грузовые терминалы. Это обеспечивает с одной стороны возможность функционирования разрезов и как следствие обеспечение экономической стабильности отдельных регионов (Кемеровская область, Хакассия), но с другой стороны парализует груз и товарообмен между другими секторами экономики, в том числе в международном сообщении. Важно подчеркнуть и тот факт, что доминирование угольной продукции кратно снижает маржинальность услуг для транспортных операторов и владельцев инфраструктуры. Совокупность низкомаржинальной и одновременно объёмной транспортной работы также оказывает дополнительное негативное влияние на доходы бюджетных систем.

В современных условиях макроэкономики принципиальное значение в системе перемещения грузов и товаров является доминирующая экономика Китая. При этом дополнительным устойчивым аргументом к ранее приведённым данным является уровень потре-

ния ресурсов странами - импортёрами азиатской части континента. Сырьевые потребности восточного вектора свидетельствуют отчётливо о том, что в ближайшее время при действующих геополитических условиях они не имеют предела насыщения. Это позволяет сформулировать гипотезу о безлимитных предельных объемах перевозки грузов. Это является принципиальным моментом при расчёте провозных способностей и возможностей, как существующих, так и прогнозируемых транспортных сетей.

При этом Китай продолжает уделять повышенное внимание аспекту комплексного транспортного развития отдельных регионов. Помимо интеграционного развития междуречья рек Янцзы и Хуанхэ в течение ближайших 15 лет, аналогичная программа разрабатывается для северо-западных и ряда других территорий [4]. Это в очередной раз подчёркивает диверсификацию транспортной политики Китая, в том числе и в слабо развитые северные территории государства, максимально приближенных к южным границам Монголии. Перспективный северный промышленный пояс Китая существенно приблизится и к границам России.

Указанные события и их последствия определяют необходимость для России выстраивания новых векторов торгово-экономического взаимодействия и интенсификации использования возможностей национальной транспортно-логистической системы [5]. Курс на более тесное сотрудничество с Китаем объективно становится для России долгосрочной приоритетной задачей [6].

Теория

Для оценки эффективности работы определённого вида транспорта предлагается провести анализ объёмов перевозок грузов в Российской Федерации и грузооборота. Также важным для рассмотрения вопросов эффективности использования провозных способностей транспорта и формирования варианты конфигурации транспортной сети целесообразно проанализировать и дальности перевозки грузов. С целью качественной репрезентативности результатов анализа достаточно будет принять выборочные данные государственной статистики, начиная с 2000 года. Учитывая незначительные погрешности в результатах работы транспорта достаточным для гарантированных выводов шаг данных также возможно увеличить до 5 лет. Эти параметры корректно коррелируются с экономическими периодами Российской Федерации (внутренние и внешние кризисы, пандемия и т.д.). Данные соответственно по объёмам перевозок грузов и грузообороту по различным видам транспорта в РФ представлены в таблицах 2 и 3 [1].

Таблица 2 - Объёмы перевозки грузов по видам транспорта по РФ, млн. тонн

Годы	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Транспорт - всего	7907	9167	7750	7898	7960	8779
в т.ч.						
железнодорожный	1047	1273	1312	1329	1359	1351
воздушный	0,8	0,8	1,1	1,0	1,3	0,7
автомобильный	5878	6685	5236	5357	5405	6211
водный	152	160	139	140	134	144
трубопроводный	829	1048	1061	1071	1061	1073

Таблица 3 - Грузооборот по видам транспорта по РФ, млрд. тонно - километров

Годы	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Транспорт - всего	3638	4676	4752	5108	5401	5582
в т.ч.						
железнодорожный	1373	1858	2011	2306	2545	2638
воздушный	2,5	2,8	5	5,6	7,1	2,8
автомобильный	153	194	199	247	272	314
водный	193	147	154	106	107	113
трубопроводный	1916	2474	2383	2444	2470	2515

Исходя из представленных данных прослеживается уверенная динамика роста показателя

телей объёмов и транспортной работы на железнодорожном, автомобильном и трубопроводном транспорте. Производительность трубопроводного транспорт коррелируется с макроэкономическими колебаниями спроса на генеральные ресурсы. Авиационные и водные перевозки оказались наиболее чувствительными к экономическим и геополитическим колебаниям. Наибольший вклад и значимость для макроэкономических показателей транспортной работы оказывают железнодорожный и автомобильный транспорт.

Для принятия комплексных решений по повышению качества и эффективности функционирования грузовой транспортной системы России и международных транспортных коридоров предлагается дополнительно провести расчёт расстояния транспортировки 1 тонны груза. Этот показатель неоправданно не входит в систему оценки принятия решений, а также в государственную статистику, хотя наиболее точно показывает качественный состав грузовой работы. Результирующие расчётные показатели представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Расстояние транспортировки 1 тонны груза по видам транспорта по РФ, км

Годы	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Транспорт - всего	460	510	613	646	678	635
в т.ч.						
железнодорожный	1311	1459	1532	1735	1872	1952
автомобильный	26	29	38	46	50	50
трубопроводный	2311	2360	2245	2281	2327	2343

Совокупность представленных данных позволяет сформулировать ряд выводов и предложений:

1. Динамика объёмов транспортировки сырья и транспортная работа гармонизируют мировым сырьевым трендам, а транспортный трубопроводный каркас работает адекватно базовым технико-экономическим параметрам.

2. Автомобильный транспорт имеет устойчивый рост объёмов перевозок (на 5,6 % за 22 года анализируемого периода). Но грузовая работа при практически неизменных темпах роста объёмов перевозки увеличилась за такой же период более чем в 2 раза. Полученные данные средней дальности перевозки 1 тонны груза также показывают, что она увеличилась в периоде в два раза. Это свидетельствует о повышении популярности автомобильного транспорта. При этом дорожная инфраструктура получает дополнительное воздействие от большегрузного транспорта, причиняя добавочный ущерб.

3. Железнодорожный транспорт является сдерживающим фактором экономической цепочки развития производственной инфраструктуры страны. Совокупность статистических данных и полученных результатов расчёта свидетельствует об увеличении протяжённости маршрутов перевозки практически на 50 %. При этом объём увеличения перевезённых грузов возрос лишь на 30 %. Увеличение пробегов подвижного состава свидетельствует о дефицитах отрасли по темпам развития. В свою очередь, увеличение пробегов приводит к нарастающей загрузке инфраструктуры, снижая её пропускные возможности.

Результаты и обсуждение

Исходя из совокупности полученных аналитических и расчётных данных требуется принятие системных мер по формированию нового опорного транснационального логистического каркаса железнодорожного транспорта и автомобильных дорог. Для государственной транспортной независимости важное значение имеет развитие альтернативных направлений железнодорожного транспорта. Это позволит не только увеличивать пропускную способность всей сети, но и качественно перераспределять генеральные потоки грузов, предоставляя дополнительные возможности для экономически маргинальных видов.

Наряду с развитием существующей сети восточного полигона, необходима реализация сопутствующих проектов меридианного направления. Важнейшими проектами будущего могут стать западный, центральный и восточный коридоры «Россия - Монголия - Китай». Важнейшее геополитическое значение в формировании транснациональных логистических коридоров играет Монголия.

Монголия зажата между двумя великими соседями. Очевидно, что выбор лишь одного из партнёров в качестве ключевого был бы чреват опасностью экономической и политиче-

ской зависимости, поэтому выбор политики «третьего соседа» и позиции «серединного пути» более чем оправдан [7].

Развитие логистических коридоров между Россией и Китаем даст синергетический импульс для существенного развития экономического потенциала Монголии, в том числе и расширит возможности добывающего сегмента экономики. Схематичные трассировки меридианных железнодорожных коридоров представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 - Схематичные трассировки меридианных железнодорожных коридоров «Россия - Монголия - Китай»

Ключевым фактором для России в развитии новых азиатских коридоров является одинаковая железнодорожная колея национальных дорог и Улан - Баторской дороги (1520 мм), а также наличие активов железной дороги ОАО «РЖД» на территории Монголии.

Выводы

На основании совокупности статистических данных, расчётных показателей, аналитических и экспертно- научных материалов необходимы интеграционные решения по стратегическому развитию транспортного комплекса страны с задачами диверсификации экономики и перераспределения международной товарной логистики. Реинжиниринг транснациональных логистических коммуникаций на современном этапе является основополагающей основой геополитики и экономики России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы официального сайта Федеральной службы государственной статистики / [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>.
2. Голубчик А.М., Хлопов А.М., Пак Е.В. Внешнеторговая транспортная логистика России в условиях санкционного режима: год спустя // Российский внешнеэкономический вестник. 2023. №10. С. 77-84.
3. Трутнев Ю.П. Провозная способность Восточного полигона вдвое ниже потребности грузоотправителей / *vostok.today* [Электронный ресурс]. URL: <https://vostok.today/50039-provoznaja-sposobnost-vostochnogo-poligona-vdvoe-nizhe-potrebnosti-gruzootpravitelej-trutnev.html>.
4. Константинов А.А. Транспортная система Китая: опыт, проблемы, перспективы / Под редакцией Е.В. Чабановой // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (транспорт 2020): Материалы всероссийской научно-технической конференции. 2020. С. 184-187.
5. Холопов К.В., Раровский П.Е. Стратегическое развитие железнодорожного транспорта России в новых условиях // Экономика железных дорог. 2023. №6. С. 36-43.
6. Спартак А.Н. Переформатирование международного экономического сотрудничества России в условиях санкций и новых вызовов // Российский внешнеэкономический вестник. 2023. №4. С. 9-35.
7. Литвинова Т.Н., Железняков А.С., Чулуунбаатар Г. Монгольский мир перед вызовами современности // Полис. Политические исследования. 2022. №4. С. 120-133.
8. Донской П.М., Малахальцев П.М. On-demand: адаптивные маршруты общественного транспорта // Городские исследования и практики. 2019. №4. С. 93-125.
9. Alonso-González M.J. et al. The potential of demand-responsive transport as a complement to public transport: An assessment framework and an empirical evaluation // *Transport Research Record*. 2018. №8. P. 879-889.
10. Potts J.F. et al. A Guide for Planning and Operating Flexible Public Transportation Services // *Transportation Research Board*. 2020. №1. P. 1-97.
11. Евтюков С.А., Лукашов Б.В. Исследование подсистемы выявления инцидентов интеллектуальной транспортной системы // Вестник гражданских инженеров. №1(90). С. 136-142. 2022.

12. Евтюков С.А., Лукашов Б.В. Метод оценки наличия технической возможности у водителя транспортного средства избежать ДТП с применением современных информационных и телематических технологий // Мир транспорта и технологических машин. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева. 2022.

13. Лукашов Б.В. Исследования параметров торможения коммерческих транспортных средств // Грузовик. 2024. №2. С. 43-44.

Еремин Сергей Васильевич

Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации

Адрес: 103265, Россия, г. Москва, Георгиевский пер., 2

Д.т.н., депутат Государственной Думы

E-mail: 140576@mail.ru

S.V. EREMIN

GLOBAL TRADE AND ECONOMIC TRANSFORMATIONS - PREREQUISITES FOR THE REENGINEERING OF TRANSNATIONAL LOGISTICS COMMUNICATIONS IN RUSSIA (USING THE EXAMPLE OF THE EASTERN POLYGON)

***Abstract.** The article deals with topical issues of the modern national and transnational system of movement of goods and cargoes. Using the example of transportation of general raw materials along the Siberia - Far East latitudinal route, options for creating alternative cargo distribution hubs with a system of meridian corridors are proposed. Attempts have been made to integrate the tasks of strategic development of the country's transport complex until 2030 with the tasks of economic diversification of the domestic economy and redistribution of commodity logistics.*

***Keywords:** transnational transport corridors (communications), transport and logistics operations, reengineering of logistics communications, meridian transport corridors, unlimited infrastructure, cargo transportation, northern sea route*

BIBLIOGRAPHY

1. Materialy ofitsial'nogo sayta Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki / [Elektronnyy resurs]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>.
2. Golubchik A.M., Hlopov A.M., Pak E.V. Vneshnetorgovaya transportnaya logistika Rossii v usloviyakh sanktsionnogo rezhima: god spustya // Rossiyskiy vneshneekonomicheskiy vestnik. 2023. №10. S. 77-84.
3. Trutnev YU.P. Provoznaya sposobnost' Vostochnogo poligona vdvoe nizhe potrebnosti gruzootpraviteley / vostok.today [Elektronnyy resurs]. URL: <https://vostok.today/50039-provoznaya-sposobnost-vostochnogo-poligona-vdvoe-nizhe-potrebnosti-gruzootpravitelej-trutnev.html>.
4. Konstantinov A.A. Transportnaya sistema Kitaya: opyt, problemy, perspektivy / Pod redaktsiyey E.V. Chabanovoy // Transport: problemy, tseli, perspektivy (transport 2020): Materialy vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2020. S. 184-187.
5. Holopov K.V., Rarovskiy P.E. Strategicheskoe razvitie zheleznodorozhnogo transporta Rossii v novykh usloviyakh // Ekonomika zheleznykh dorog. 2023. №6. S. 36-43.
6. Spartak A.N. Pereformatirovanie mezhdunarodnogo ekonomicheskogo sotrudnichestva Rossii v usloviyakh sanktsiy i novykh vyzovov // Rossiyskiy vneshneekonomicheskiy vestnik. 2023. №4. S. 9-35.
7. Litvinova T.N., Zheleznyakov A.S., Chuluunbaatar G. Mongol'skiy mir pred vyzovami sovremennosti // Polis. Politicheskie issledovaniya. 2022. №4. S. 120-133.
8. Donskoy P.M., Malakhal'tsev P.M. On-demand: adaptivnye marshruty obshchestvennogo transporta // Gorodskie issledovaniya i praktiki. 2019. №4. S. 93-125.
9. Alonso-Gonzalez M.J. et al. The potential of demand-responsive transport as a complement to public transport: An assessment framework and an empirical evaluation // Transport Research Record. 2018. №8. P. 879-889.
10. Potts J.F. et al. A Guide for Planning and Operating Flexible Public Transportation Services // Transportation Research Board. 2020. №1. P. 1-97.
11. Evtyukov S.A., Lukashov B.V. Issledovanie podsistemy vyyavleniya intsidentov intellektual'noy transportnoy sistemy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. №1(90). S. 136-142. 2022.
12. Evtyukov S.A., Lukashov B.V. Metod otsenki nalichiya tekhnicheskoy vozmozhnosti u voditelya transportnogo sredstva izbezhat' DTP s primeneniem sovremennykh informatsionnykh i telematicheskikh tekhnologiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева. 2022.
13. Lukashov B.V. Issledovaniya parametrov tormozheniya kommercheskikh transportnykh sredstv // Gruzovik. 2024. №2. S. 43-44.

Eremin Sergei Vasilievich

The State Duma

Address: 103265, Russia, Moscow, Georgievski st., 2

Doctor of technical sciences

E-mail: 140576@mail.ru

Научная статья

УДК 656.022.3

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-32-41

И.М. МИХНЕВИЧ, А.А. БЕЛЕХОВ

МЕТОД ОЦЕНКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТРАНСПОРТА ПО ЗАПРОСУ В ГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ ЗОНАХ

Аннотация. В современном мире экологические вопросы и снижение уровня загруженности автомобильных дорог становятся всё более приоритетными, поэтому разработка и внедрение новых подходов к организации транспортных систем является неотъемлемой частью развития городов и регионов. Транспорт по запросу, также известный как «on-demand transit», представляет собой систему, при которой пассажиры могут заказывать транспортные средства для перемещения по городу или району. На данный момент подобные системы успешно применяются в крупных городах мира и демонстрируют свою эффективность в снижении загруженности автомобильных дорог, уменьшении выбросов вредных веществ и экономии времени пассажиров. Метод оценки целесообразности внедрения такого транспорта позволяет определить, насколько эффективно и целесообразно будет внедрение системы транспорта по запросу для конкретной пригородной и городской зон.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, транспортное обслуживание, адаптивные маршруты, микротранзитные перевозки

Введение

Во всём мире транспортные системы городов и регионов представлены различными видами транспорта. Помимо привычных автобусных, троллейбусных, трамвайных систем и метрополитена, можно также встретить такие современные системы пассажирского транспорта, как маглев, монорельс, аэротакси и т. п. Несмотря на большое разнообразие вариаций систем транспорта общего пользования, на сегодняшний день существует проблема целесообразности внедрения или поддержания на текущем уровне тех или иных транспортных систем.

Многие города мира сталкиваются с проблемой перегруженности системы общественного транспорта. Например, в Боготе (Колумбия) система скоростных автобусных перевозок *TransMilenio* представлена 12 линиями с дневным пассажиропотоком 1,8 млн. пасс., однако она столкнулась с проблемами переполненности, небезопасности и плохого обслуживания пассажиров. Согласно социологическим опросам, 86% пользователей системы недовольны предоставляемым сервисом [1].

Для решения проблемы перегруженности городского пассажирского транспорта следует учитывать современные тенденции в области организации перевозок пассажиров, в т. ч. создавать транспортные системы с двумя основными типами маршрутов: магистральными и подвозящими. В таком случае, магистральные маршруты обеспечат необходимые межрайонные связи, в то время как подвозящие маршруты будут осуществлять внутрирайонное сообщение и перевозку пассажиров до ближайших пересадочных пунктов на магистральные маршруты или другие виды пассажирского транспорта (трамвай, метрополитен, городская электричка и т.п.).

Однако несмотря на простоту внедрения и обслуживания подобной транспортной системы, многие города сталкиваются с проблемой нерентабельности многих подвозящих маршрутов, поскольку из удалённых частей городских агломераций может отсутствовать устойчивый спрос на перевозки. В таком случае, пассажиры будут меньше пользоваться общественным транспортом для перемещения в другие районы, отдав свой выбор в пользу индивидуального транспорта, в т. ч. услугам каршеринга, и таксомоторным перевозкам.

Развитие транспорта по запросу (*Demand Responsive Transport, DRT*) позволяет совместить услуги автобусных перевозок с услугами такси и предоставить пассажирам новый вид перевозок.

Такой сервис может быть целесообразен как для внутригородских, так и для пригородных перевозок пассажиров. Основной целью данного исследования является разработка метода оценки целесообразности внедрения транспорта по запросу в городских и пригородных зонах. Для достижения поставленной цели в рамках научно-исследовательской работы будут разработаны показатели, определяющие целесообразность внедрения транспорта по запросу. Кроме того, разработанные показатели и метод оценки будут применены для решения задачи транспортного обслуживания населения пос. Новогорелово (Ломоносовский р-н), расположенного на границе Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Материал и методы

Для проведения исследования методологической основой служат анализ практик зарубежного и отечественного опытов с целью изучения существующих подходов и применяемых методик оценки эффективности транспорта по запросу и его внедрения в городские и пригородные зоны, а также создание модели оценки целесообразности внедрения транспорта по запросу, учитывающей различные факторы (такие как плотность населения, уровень транспортной нагрузки, стоимость услуг и др.) и применение разработанной модели для анализа различных сценариев внедрения транспорта по запросу на территории пригородных зон Санкт-Петербурга с различными характеристиками.

Теория

Для анализа практик внедрения систем транспорта по запросу были изучены зарубежный и отечественный опыты. В частности, в работе [2] рассматриваются потенциальные методологии разработки обобщённых систем оценки, которые могут определить пригодность услуги *DRT* по сравнению с другими видами транспортного обслуживания населения на основе общих характеристик сети и спроса (на стратегическом уровне). Исследование проводилось на основе бизнес-ориентированного подхода, который позволяет классифицировать весь спектр потенциальных инвестиций в *DRT*, встречающихся на практике, и сопоставить их с критериями и методами оценки их эффективности. Обоснование такого подхода заключается в том, что инвестиции в *DRT* будут в основном осуществляться на нишевых рынках, и особенно в случаях низкого спроса на городском или междугороднем уровне.

В статье [3] на основе фактического исследования в Амстердаме были исследованы различия в расстояниях, пассажиропотоке, затратах, выбросах парниковых газов и восприятии населением системы *DRT* по сравнению с обычным автобусным маршрутом. Результаты показали, что сокращение пробега и времени работы способствовало повышению общей эффективности системы «по требованию» по сравнению с предыдущей фиксированной услугой, несмотря на снижение пассажиропотока. Было продемонстрировано, что трансформация значительно повлияла на пассажиропоток, который снизился до менее чем 28 % от предыдущего уровня. Однако, поскольку по сравнению с предыдущим годом пробег сократился менее чем на 11 %, ресурсы были рационализированы. Количество автомобильных километров на одного пассажира, эксплуатационные расходы на одного пассажира и выбросы парниковых газов на одного пассажира были меньше. Пользователи также положительно оценили систему, и было доказано, что пунктуальность является важным фактором, определяющим удовлетворённость системой *DRT*.

В рамках исследования [4] российских специалистов в Иннополисе была разработана многофакторная модель, с помощью которой удалось доказать эффективность сочетания адаптивных маршрутов разной степени гибкости внутри района функционирования сервиса. Сочетание маршрутов осуществляется следующим образом: часть транспортных средств выделяется на обслуживание хорошо прогнозируемых потоков пассажиров с допуском небольших отклонений от основного маршрута; остальная же часть транспортных средств размещается в районе функционирования сервиса без ограничений по маршруту следования и графику движения, перемещаясь, таким образом, в те районы и на те направления, которые становятся востребованными в разные периоды в течение дня.

Прежде чем анализировать работу *DRT*, необходимо понять внутренние характеристики рассматриваемой системы. В работе [5] были выделены пять основных критериев функционирования системы *DRT*:

- 1) покрытие и маршрутизация (определяется рабочей зоной и степенью гибкости в эксплуатации);
- 2) часы работы (эквивалентно продолжительности обслуживания);
- 3) характеристики транспортных средств (размер автотранспортного предприятия также является ключевой конструктивной переменной систем *DRT*, поскольку он определяет различные маршруты, которые могут быть охвачены системой одновременно);
- 4) система бронирования (система может обеспечивать мгновенное бронирование в режиме реального времени, требовать предварительного бронирования или допускать оба варианта);
- 5) критерии принятия запроса (время, необходимое для прибытия в пункт отправления, или наличие транспортного средства являются часто используемыми критериями при принятии решения о том, будет ли заявка принята или отклонена).

На основании проанализированного опыта успешного внедрения систем транспорта по запросу, в рамках данного исследования были разработаны основные показатели, влияющие на целесообразность внедрения системы *DRT*. Сгруппировав по общим признакам все показатели, можно представить метод оценки следующим образом:

- 1) качество и доступность существующих маршрутов общественного транспорта (надёжность, комфорт, безопасность, частота движения, время ожидания, стоимость проезда, переполненность, задержки движения, отсутствие маршрутов городского пассажирского транспорта);
- 2) виды транспорта, используемые населением (общественный транспорт, такси, каршеринг, средства индивидуальной мобильности);
- 3) оценка технических и организационных требований для внедрения транспорта по запросу (оборудование, программное обеспечение, лицензии, разрешения, партнёрства);
- 4) прогноз доходов от предоставления услуг транспорта по запросу;
- 5) потенциальный эффект (снижение времени ожидания, повышение доступности транспорта, снижение затрат на транспорт, улучшение экологической ситуации, повышение мобильности населения и доступности услуг).

При рассмотрении вопроса о том, когда система транспорта по запросу лучше всего работает на пригородной территории, следует учитывать демографию населения и цели поездки. В районах с низкой плотностью населения спрос на услуги общественного транспорта обычно возникает у традиционно зависимых от перемещения пожилых людей, людей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и лиц с низким уровнем дохода [6]. Учитывая относительные неудобства, связанные с транспортом по запросу (например, поездки часто бывают более длительными, чем поездки по фиксированному маршруту), если демографические данные населения соотносятся с целями поездки (например, рабочие, учебные или культурно-бытовые), то можно определить целевой спрос на услуги транспорта по запросу. В тех случаях, когда население, зависящее от перевозок, совершает поездки, не зависящие от времени, целесообразно использовать услуги транспорта по запросу. Когда население в меньшей степени зависит от транспорта или когда цели поездки в большей степени зависят от времени, эффективность транспорта по запросу снижается [7]. В таблице 1 цели поездки распределены по демографическим показателям для определения эффективности транспорта по запросу. Сочетание демографической группы и цели поездки, которая оценивается как «высокая», наилучшим образом соответствует вариантам обслуживания транспорта по запросу. Что касается пригородных районов, то поездка требует, чтобы наиболее подходящие услуги транспорта по запросу в первую очередь предоставлялись пожилым людям, инвалидам и лицам с низким уровнем дохода, которые традиционно зависят от транспорта, однако есть и молодёжные мероприятия, которые можно было бы считать целесообразными для

услуг транспорта по запросу [8].

Таблица 1 – Эффективность услуг транспорта по запросу в зависимости от демографической ситуации пассажиров и цели поездки

Демография/Цель поездки	Молодёжь (до 18 лет)	Взрослые (18-60 лет)	Пожилые (60 и более лет)	Лица с ОВЗ	Лица с низким уровнем дохода
Работа	Низкая вероятность эффективности транспорта по запросу				
Учёба					
Социальные объекты (поликлиники, многофункциональные центры и т.д.)	Высокая вероятность	Средняя вероятность	Высокая вероятность эффективности транспорта по запросу		
Продуктовые магазины, рынки и супермаркеты	Низкая вероятность				
Торговые центры и сопутствующие услуги (ателье, обувные мастерские и т.д.)	Высокая вероятность	Низкая вероятность			

Таким образом, при внедрении транспорта по запросу необходимо учитывать, что наиболее вероятные перемещения жителей будут среди молодёжи от места жительства до социальных объектов и торговых центров, а также среди пожилых людей, лиц с ОВЗ и низким уровнем дохода до социальных объектов, продуктовых магазинов и торговых центров. В определённых случаях, существует вероятность перемещения взрослых жителей до социальных объектов, однако указанный тип перемещения не является постоянным.

Расчёт

На основании проведённого анализа эффективности услуг транспорта по запросу, можно привести виды транспорта по запросу, которые лучше всего подходят для пригородных территорий:

1) подвозящий маршрут. Такой тип пассажирского транспорта лучше всего работает, когда нет подходящих мест для поездки, но есть остановки общественного транспорта, ведущие к подходящим местам назначения в пределах определённого района;

2) наличие по маршруте остановок «по требованию». Данная услуга лучше всего функционирует, когда пассажирам предоставляется возможность использовать систему фиксированных маршрутов (даже если они следуют по фиксированному маршруту с отклонениями) по всему коридору;

3) зональные маршруты. Такая система пригодна в том случае, когда полноценного коридора не существует, однако в пределах определённой зоны существуют реальные пункты отправления или назначения поездок.

Результаты и обсуждение

Используем разработанные показатели и метод оценки для решения задачи транспортного обслуживания населения посёлка Новогорелово Виллозского городского поселения Ломоносовского района Ленинградской области. Население посёлка составляет 3658 чел. Новогорелово находится на границе Санкт-Петербурга и Ленинградской области, занимая выгодное географическое положение. С севера посёлок ограничен Волхонским шоссе, с запада – рекой Дудергофка, с юга – Лиговским каналом, с востока – Промышленной улицей.

Несмотря на удобное географическое положение посёлка, Новогорелово не имеет транспортных связей ни с центрами поселения и района (г. п. Виллози и г. Ломоносов соответственно), ни с ближайшими районами Санкт-Петербурга, за исключением Красносельского. Единственным маршрутом, обслуживающим жителей посёлка, является коммерческий автобус №650Б, соединяющий Новогорелово со станцией метро «Проспект Ветеранов». Маршрут имеет 16 остановок в прямом направлении и 17 остановок в обратном направлении. Протяжённость маршрута №650Б составляет 11,08 км, полный оборот маршрута занимает 50 минут. Автобусы ежедневно отправляются в рейсы независимо от количества пассажиров на остановочных пунктах и проезжают все остановки по трассе следования, интервал движения на маршруте составляет 30 мин.

Для пос. Новогорелово были выбраны 19 пунктов притяжения населения, представленные в таблице 2. В таблицу не были включены учреждения дошкольного и школьного

образования по причине того, что все учреждения находятся в пешей доступности от жилых кварталов населённого пункта.

Таблица 2 – Пункты социального тяготения жителей пос. Новогорелово

№	Название	Тип пункта	Территория	Координаты	Землепользование
1	Новогорелово	Отправление	пос. Новогорелово	59.790082, 30.169011	Жилое
2	Новогорелово-1	Отправление	пос. Новогорелово	59.791611, 30.164719	Жилое
3	Улица Коммунаров	Отправление	пос. Новогорелово	59.792926, 30.161038	Жилое
4	Улица Коммунаров, 188	Отправление	тер. Горелово	59.794138, 30.160371	Жилое
5	Улица Коммунаров, 190	Отправление	тер. Горелово	59.796073, 30.162081	Жилое
6	Улица Современников	Отправление	Виллозское гор. поселение	59.794494, 30.168785	Жилое
7	Улица Современников	Отправление	пос. Новогорелово	59.789943, 30.162728	Жилое
8	Промышленная улица, 8	Отправление	пос. Новогорелово	59.788134, 30.168766	Жилое
9	Улица Современников, 15	Отправление	пос. Новогорелово	59.787089, 30.166154	Жилое
10	Улица Современников, 17	Отправление	пос. Новогорелово	59.788032, 30.162522	Жилое
11	Улица Современников	Отправление	пос. Новогорелово	59.788405, 30.161133	Жилое
12	Ж/Д станция Горелово	Прибытие	тер. Горелово	59.779068, 30.125927	Транспортное
13	ТЦ «Fashion House Outlet Centre» (Аутлет Таллинское)	Прибытие	пос. Новогорелово	59.792945, 30.144030	Рекреационное
14	Южное кладбище	Прибытие	Санкт-Петербург	59.767565, 30.269305	Социальное
15	Многофункциональный центр	Прибытие	г. п. Виллози	59.695212, 30.108312	Социальное
16	Администрация Виллозского городского поселения	Прибытие	г. п. Виллози	59.697691, 30.103990	Социальное
17	Администрация Ломоносовского муниципального района	Прибытие	г. Ломоносов	59.910188, 29.769671	Социальное
18	Ломоносовская межрайонная больница	Прибытие	г. Ломоносов	59.914063, 29.760493	Социальное
19	Станция метро «Проспект Ветеранов»	Прибытие	Санкт-Петербург	59.841788, 30.251777	Транспортное

Планирование маршрута для транспорта общего пользования значительно отличается от планирования для индивидуального транспорта, поскольку в первом случае необходимо учитывать дополнительные пространственно-временные ограничения, которые неприменимы ко второму, такие как время, необходимое для ожидания автобуса на остановочном пункте, или возможность пересадки с одного автобуса на другой с учётом их соответствующих особенностей расписания. Для решения этой проблемы распространённым подходом является моделирование сети пассажирского транспорта в виде графа расписания [9], где каждый узел i представляет станцию и каждое направленное ребро $j \{a,b\}$, связанное с расписанием, в котором записано время отправления или прибытия каждого транспортного средства на остановочный пункт a или b .

Задача транспортного обслуживания населения пос. Новогорелово является задачей линейного программирования. В данном случае сеть маршрутов транспорта по запросу может быть построена с помощью графа. Маршруты и оценка времени отправления от остановочного пункта или времени прибытия на остановочный пункт для транспорта по запросу строятся на основе динамической маршрутизации, где последовательность узлов (станций) может быть произвольной и может оптимизироваться [10]. Кроме того, в случае работы системы *DRT* понятие «динамическое расписание» представляет собой прогноз движения автобусов, основанный на актуальных заказах от пассажиров и прогнозных моделях, применяе-

мых системой для определения местоположения транспортных средств с учётом прогнозируемого спроса. Такое расписание может варьироваться в зависимости от обстановки на улично-дорожной сети, погодных условий или появления новых заказов. Основа для составления такого расписания являются алгоритмы формирования и оптимизации маршрутов. Они определяют направление и скорость движения автобуса, порядок выполнения заказов и время прибытия на определённые остановочные пункты.

Принцип разработки маршрутов для систем *DRT* определяется целями заказчика и оператора транспортных услуг. На территориях с низким спросом и ограниченной транспортной доступностью маршруты могут ставить цель минимизации пройденного автобусом расстояния. Однако при повышении требований пассажиров к качеству обслуживания и появлении конкурирующих сервисов возникает необходимость найти баланс между сокращением затрат на перевозки и ценностью услуг для пассажиров. В задачи внедрения транспорта по запросу входят оптимизация расходов на транспорт, расширение транспортной сети (увеличение числа остановок и включение в маршрут соседних населённых пунктов), повышение качества сервиса в целом [11].

Для разработки графа транспортной сети составим таблицы 3 и 4, в которых отражены кратчайшие расстояния между вершинами графа (остановками) и минимальное время в пути.

Таблица 3 – Матрица кратчайших расстояний между остановками (в км)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	–	0,3	0,6	0,7	0,9	0,8	0,6	0,3	0,5	0,8	0,9	3,4	6,1	8,6	13,7	13,5	35,0	36,0	12,2
2	0,3	–	0,3	0,4	0,6	0,5	0,3	0,6	0,8	0,5	0,6	3,1	5,7	7,9	13,4	13,0	34,5	35,5	11,9
3	0,6	0,3	–	0,1	0,4	0,7	0,4	0,8	0,9	0,7	0,7	2,9	5,4	8,0	13,0	12,7	34,0	35,0	11,6
4	0,7	0,4	0,1	–	0,2	0,8	0,6	1,0	1,2	0,8	0,8	2,9	5,4	8,2	13,0	12,8	34,0	35,0	11,1
5	0,9	0,6	0,4	0,2	–	1,0	0,8	1,2	1,5	1,0	1,1	3,0	5,6	8,4	13,2	12,9	34,0	35,0	11,8
6	0,8	0,5	0,7	0,8	1,0	–	1,4	0,9	1,2	1,4	1,5	4,2	6,9	7,4	14,4	14,1	36,0	36,0	13,0
7	0,6	0,3	0,4	0,6	0,8	1,4	–	0,9	0,5	0,2	0,3	3,3	5,8	8,1	13,5	13,2	34,0	35,0	12,1
8	0,3	0,6	0,8	1,0	1,2	0,9	0,9	–	0,3	0,5	0,6	3,2	5,8	8,4	13,5	13,2	35,0	35,0	12,0
9	0,5	0,8	0,9	1,2	1,5	1,2	0,5	0,3	–	0,2	0,3	3,1	5,7	8,3	13,4	13,1	35,0	35,0	11,7
10	0,8	0,5	0,7	0,8	1,0	1,4	0,2	0,5	0,2	–	0,1	3,7	5,3	8,3	13,7	12,7	34,0	35,0	11,5
11	0,9	0,6	0,7	0,8	1,1	1,5	0,3	0,6	0,3	0,1	–	2,6	5,2	8,3	12,9	12,6	34,0	35,0	11,4
12	3,4	3,1	2,9	2,9	3,0	4,2	3,3	3,2	3,1	3,7	2,6	–	6,1	11,0	11,8	11,5	35,0	36,0	12,4
13	6,1	5,7	5,4	5,4	5,6	6,9	5,8	5,8	5,7	5,3	5,2	6,1	–	9,7	13,1	12,8	34,0	34,0	11,1
14	8,6	7,9	8,0	8,2	8,4	7,4	8,1	8,4	8,3	8,3	8,3	11,0	9,7	–	23,9	23,6	40,0	41,0	19,7
15	13,7	13,4	13,0	13,0	13,2	14,4	13,5	13,5	13,4	13,7	12,9	11,8	13,1	23,9	–	0,3	45,0	46,0	22,7
16	13,5	13,0	12,7	12,8	12,9	14,1	13,2	13,2	13,1	12,7	12,6	11,5	12,8	23,6	0,3	–	45,0	46,0	22,4
17	35,0	34,5	34,0	34,0	34,0	36,0	34,0	35,0	35,0	34,0	34,0	35,0	34,0	40,0	45,0	45,0	–	1,0	41,0
18	36,0	35,5	35,0	35,0	35,0	36,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	36,0	34,0	41,0	46,0	46,0	1,0	–	41,0
19	12,2	11,9	11,6	11,1	11,8	13,0	12,1	12,0	11,7	11,5	11,4	12,4	11,1	19,7	22,7	22,4	41,0	41,0	–

Таблица 4 – Матрица минимального времени в пути (в мин.)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	–	1	2	2	3	3	2	1	2	2	3	10	12	15	29	28	41	42	18
2	1	–	1	2	2	2	1	2	2	2	2	10	12	14	29	28	39	40	17
3	2	1	–	1	1	2	1	3	3	2	2	9	12	15	27	26	37	38	18
4	2	2	1	–	1	3	2	3	3	3	3	9	11	15	28	27	37	38	16
5	3	2	1	1	–	3	3	4	4	3	4	9	12	16	29	26	37	39	17
6	3	2	2	3	3	–	3	2	3	3	4	11	14	14	30	29	40	41	20
7	2	1	1	2	3	3	–	2	2	1	1	9	12	15	30	29	39	40	17
8	1	2	3	3	4	2	2	–	1	1	2	10	11	14	28	27	38	39	17
9	2	2	3	3	4	3	2	1	–	1	1	10	11	14	29	28	38	39	17
10	2	2	2	3	3	3	1	1	1	–	1	11	11	15	30	29	37	39	16
11	3	2	2	3	4	4	1	2	1	1	–	8	11	16	29	28	37	38	16
12	10	10	9	9	9	11	9	10	10	11	8	–	12	19	25	24	38	39	16
13	12	12	12	11	12	14	12	11	11	11	11	12	–	18	28	27	36	37	14
14	15	14	15	15	16	14	15	14	14	15	16	19	18	–	37	36	45	46	25
15	29	29	27	28	29	30	30	28	29	30	29	25	28	37	–	2	54	55	33
16	28	28	26	27	26	29	29	27	28	29	28	24	27	36	2	–	52	55	32
17	41	39	37	37	37	40	39	38	38	37	37	38	36	45	54	52	–	3	41
18	42	40	38	38	39	41	40	39	39	39	38	39	37	46	55	55	3	–	42
19	18	17	18	16	17	20	17	17	17	16	16	16	14	25	33	32	41	42	–

На основании данных картографической службы «Яндекс-Карты» и значений из таблицы 3 был составлен граф транспортной сети системы транспорта по запросу пос. Новогорелово, представленный на рисунке 1.

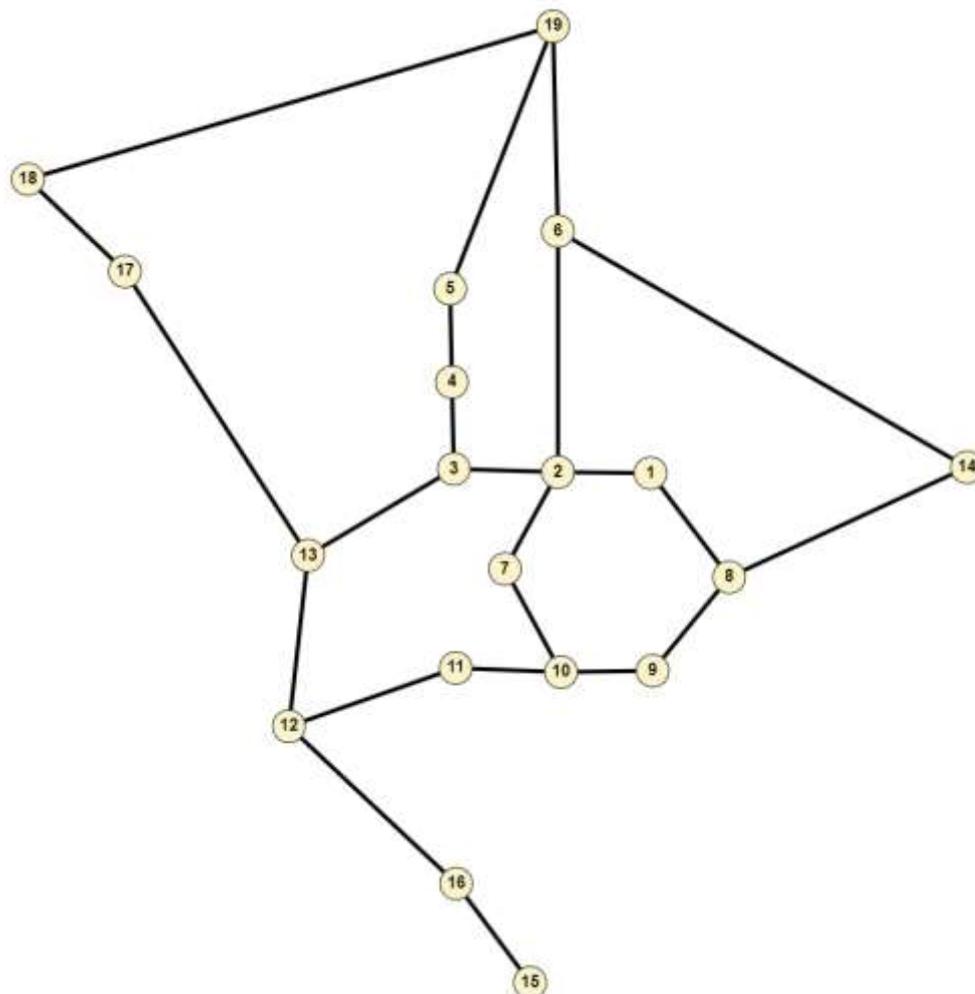


Рисунок 1 – Граф транспортной сети

Рассмотрим возможные варианты маршрутов системы транспорта по запросу:

- 1) до ЖД станции Горелово: 1-2-7-11-12 = 3,6 км (12 мин.)
- 2) до ЖД станции Горелово: 1-8-9-10-11-12 = 3,6 км (12 мин.);
- 3) до Южного кладбища: 1-8-9-10-7-2-6-14 = 9,1 км (15 мин.);
- 4) до Южного кладбища: 5-4-3-2-6-14 = 8,5 км (14 мин.);
- 5) до ТЦ «Fashion house outlet centre»: 1-2-3-4-5-13 = 7,4 км (16 мин.);
- 6) до ТЦ «Fashion House Outlet Centre»: 1-8-9-10-11-13 = 6,0 км (13 мин.);
- 7) до многофункционального центра: 1-2-7-11-16-15 = 13,8 км (28 мин.);
- 8) до многофункционального центра: 1-8-9-10-11-16-15 = 13,8 км (27 мин.);
- 9) до Ломоносовской межрайонной больницы: 1-2-3-4-5-13-17-18 = 35,0 км (31 мин.);
- 10) до Ломоносовской межрайонной больницы: 1-8-9-10-11-13-17-18 = 36,0 км (32 мин.);
- 11) до станции метро «Проспект Ветеранов»: 1-2-3-4-5-13-19 = 11,0 км (21 мин.);
- 12) до станции метро «Проспект Ветеранов»: 1-8-9-10-11-13-19 = 11,1 км (22 мин.).

Таким образом, при анализе вышеуказанных маршрутов можно выявить несколько оптимальных маршрутов следования транспортных средств. В данном случае критериями оптимальности будут являться минимальное итоговое расстояние, минимальное итоговое время в пути и максимальное количество задействованных остановочных пунктов [12]. Такие маршруты представлены под номерами 1, 2, 4, 6, 8, 9 и 11.

Кроме того, одним из значимых факторов эффективности системы транспорта по запросу является среднее время ожидания автобуса. При внедрении системы *DRT* следует учитывать, что время ожидания автобуса-шаттла не должно превышать время ожидания автобуса с фиксированным маршрутом, а также должно быть на одинаковом уровне с автомобилями такси. Согласно данным исследования [13], время ожидания автобуса системы транспорта по запросу не должно превышать 15 мин. для пригородной территории с населением менее 3500 чел. Поскольку население пос. Новогорелово превышает 3500 чел., примем среднее время ожидания автобуса не более 10 мин., поскольку за это время жители посёлка смогут пешком добраться до ближайших остановок на ближайших крупных магистральных улицах и дорогах.

На основании теоретических исследований был разработан алгоритм, позволяющий оценить оценку целесообразности внедрения системы транспорта по запросу. Для формирования информационной базы использовались статистические данные функционирования систем *DRT* в различных городах мира [14]. При разработке алгоритма были установлены наиболее значимые факторы, влияющие на эффективность внедрения [15]. Схема алгоритма представлена на рисунке 2.

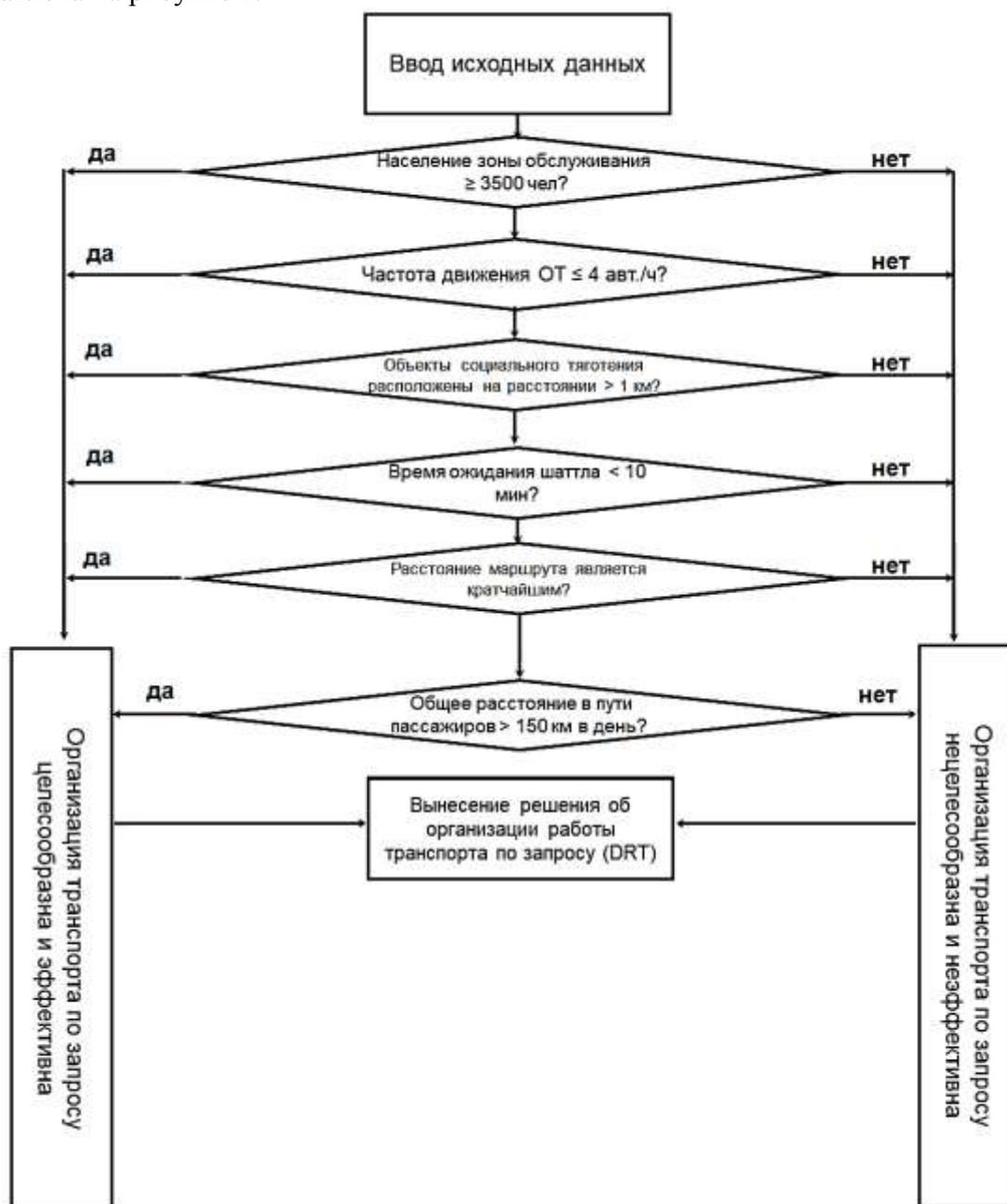


Рисунок 2 – Алгоритм принятия управленческих решений по оценке целесообразности внедрения системы транспорта по запросу

Выводы

В данном научном исследовании изучались особенности реализации проектов *DRT* в контексте развития городских агломераций. Были проанализированы статистические данные различных вариантов внедрения систем транспорта по запросу, а также установлены ключевые технические, эксплуатационные и экономические характеристики этой системы общественного транспорта.

Исследования демонстрируют, что проекты *DRT* являются действенным методом решения задач, связанных с транспортным развитием городских агломераций, включая модернизацию транспортной инфраструктуры, снижение экологического загрязнения и повышение доступности общественного транспорта для населения. Однако успешная реализация системы транспорта по запросу требует учёта множества аспектов, таких как географическое положение территории, демографическая ситуация, экономическое развитие и т.д.

Проведённое исследование показало, что при учёте всех вышеуказанных критериев оценки эффективности внедрения системы транспорта по запросу органы государственной власти получают необходимую информацию для принятия решения о внедрении системы *DRT* или отказе от этой идеи в пользу строительства альтернативных маршрутов передвижения населения.

Таким образом, исследование особенностей реализации систем транспорта по запросу представляет собой актуальную тему для научных исследований, поскольку это способствует разработке новых методов решения проблем развития транспортных систем городских и пригородных зон и улучшения качества жизни населения. В будущем результаты этого исследования могут быть применены для создания рекомендаций по внедрению *DRT* в разных городах и регионах, а также для модернизации существующих транспортных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Semana.com – Últimas Noticias de Colombia y el Mundo [Электронный ресурс]. 2009. URL: <https://www.semana.com/nacion/articulo/penalosa-lo-ocurrido-contra-transmilenio-fue-practicamente-terrorismo/4601>.
2. Papanikolaou A.A. et al. methodological framework for assessing the success of Demand Responsive Transport (DRT) services // *Transport Research Procedia*. 2017. №24. P. 393-400.
3. Coutinho F.M. et al. Impacts of replacing a fixed public transport line by a demand responsive transport system: Case study of a rural area in Amsterdam // *Research in Transportation Economics*. 2020. №83. P. 1-11.
4. Донской П.М., Малахальцев П.М. On-demand: адаптивные маршруты общественного транспорта // *Городские исследования и практики*. 2019. №4. С. 93-125.
5. Alonso-González M.J. et al. The potential of demand-responsive transport as a complement to public transport: An assessment framework and an empirical evaluation // *Transport Research Record*. 2018. №8. P. 879-889.
6. Potts J.F. et al. A Guide for Planning and Operating Flexible Public Transportation Services // *Transportation Research Board*. 2020. №1. P. 1-97.
7. Wang S. et al. Efficient Route Planning on Public Transportation Networks: A Labelling Approach // *ACM Digital Library*. 2015. №1. P. 967-982.
8. Hazan J. et al. On-Demand Transit Can Unlock Urban Mobility // *The BCG Henderson Institute*. 2019. №2. P. 1-6.
9. Liyanage S. et al. Flexible Mobility On-Demand: An Environmental Scan // *Sustainability*. 2019. №11. P. 1-39.
10. Schulz F. et al. Timetable Information: Models and Algorithms // *Algorithmic Methods for Railway Optimization*. 2007. №6. P. 67-90.
11. Brake J. et al. Demand responsive transport: towards the emergence of a new market segment // *Journal of Transport Geography*. 2004. №12. P. 323-337.
12. Saxena N. et al. Determining the Market Uptake of Demand Responsive Transport Enabled Public Transport Service // *Sustainability*. 2020. №12. P. 1-18.
13. Davison L. et al. Identifying potential market niches for Demand Responsive Transport // *Research in Transportation Business & Management*. 2012. №3. P. 50-61.
14. Bossert A. et al. Impact assessment of autonomous demand responsive transport as a link between urban and rural areas // *Research in Transportation Business & Management*. 2021. №39. P. 1-17.
15. Ryley T.J. et al. Investigating the contribution of Demand Responsive Transport to a sustainable local public transport system // *Research in Transportation Economics*. 2014. №48. P. 364-372.

Михневич Игорь Михайлович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Студент

E-mail: igormihnevich@mail.ru

Белехов Александр Александрович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

I.M. MIKHNEVICH, A.A. BELEKHOV

COMPARISON OF METHODS FOR ASSESSING THE SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT AFTER THE IMPLEMENTATION OF BUS RAPID TRANSIT SYSTEMS (BRTS)

Abstract. *In the modern world, environmental issues and reducing traffic congestion are becoming prior, so the new transport systems organization approaches development and implementation is an integral part of the city and regional development. Demand Responsive Transport, also known as «on-demand transit», is a system where passengers can order vehicles to move around a city or area. Now, such systems are successfully used in major cities around the world and demonstrate their effectiveness in reducing traffic congestion, reducing emissions of harmful substances and saving passengers' time. The implementing feasibility assessing method allows determining how effective and appropriate it will be to implement an on-demand transit for a specific suburban and urban area.*

Keywords: *passenger transport, transport service, adaptive routes, micro transit service*

BIBLIOGRAPHY

1. Semana.com - Itimas Noticias de Colombia y el Mundo [Elektronnyy resurs]. 2009. URL: <https://www.semana.com/nacion/articulo/penalosa-lo-ocurrido-contra-transmilenio-fue-practicamente-terrorismo/4>.
2. Papanikolaou A.A. et al. methodological framework for assessing the success of Demand Responsive Transport (DRT) services // Transport Research Procedia. 2017. №24. P. 393-400.
3. Coutinho F.M. et al. Impacts of replacing a fixed public transport line by a demand responsive transport system: Case study of a rural area in Amsterdam // Research in Transportation Economics. 2020. №83. P. 1-11.
4. Donskoy P.M., Malakhal'tsev P.M. On-demand: adaptivnyye marshruty obshchestvennogo transporta // Gorodskie issledovaniya i praktiki. 2019. №4. S. 93-125.
5. Alonso-Gonzalez M.J. et al. The potential of demand-responsive transport as a complement to public transport: An assessment framework and an empirical evaluation // Transport Research Record. 2018. №8. P. 879-889.
6. Potts J.F. et al. A Guide for Planning and Operating Flexible Public Transportation Services // Transportation Research Board. 2020. №1. P. 1-97.
7. Wang S. et al. Efficient Route Planning on Public Transportation Networks: A Labelling Approach // ACM Digital Library. 2015. №1. P. 967-982.
8. Hazan J. et al. On-Demand Transit Can Unlock Urban Mobility // The BCG Henderson Institute. 2019. №2. P. 1-6.
9. Liyanage S. et al. Flexible Mobility On-Demand: An Environmental Scan // Sustainability. 2019. №11. P. 1-39.
10. Schulz F. et al. Timetable Information: Models and Algorithms // Algorithmic Methods for Railway Optimization. 2007. №6. P. 67-90.
11. Brake J. et al. Demand responsive transport: towards the emergence of a new market segment // Journal of Transport Geography. 2004. №12. P. 323-337.
12. Saxena N. et al. Determining the Market Uptake of Demand Responsive Transport Enabled Public Transport Service // Sustainability. 2020. №12. P. 1-18.
13. Davison L. et al. Identifying potential market niches for Demand Responsive Transport // Research in Transportation Business & Management. 2012. №3. P. 50-61.
14. Bossert A. et al. Impact assessment of autonomous demand responsive transport as a link between urban and rural areas // Research in Transportation Business & Management. 2021. №39. P. 1-17.
15. Ryley T.J. et al. Investigating the contribution of Demand Responsive Transport to a sustainable local public transport system // Research in Transportation Economics. 2014. №48. P. 364-372.

Mikhnevich Igor Mikhailovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4
Student
E-mail: igormihnevich@mail.ru

Belekhov Alexander Alexandrovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4
Candidate of technical science
E-mail: ibddgasu@gmail.com

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Научная статья
УДК 656.13: 343.983.25
doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-42-51

Б.В. ЛУКАШОВ, С.А. ЕВТЮКОВ, Р.В. ЛУКАШОВ, С.А. ПАВЛОВ

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ДТП В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ

Аннотация. Исследование закономерностей возникновения дорожно-транспортных происшествий во времени на скоростных автодорогах, анализ уровня безопасности дорожного движения на основе больших данных.

Ключевые слова: анализ ДТП, анализ данных, кластерный анализ

Введение

Снижение числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП) является одним из приоритетных направлений работы специалистов и исследователей в сфере автодорожного комплекса Российской Федерации. Повышение безопасности дорожного движения как в городских агломерациях, так и в отдаленных районах на скоростных платных автодорогах и федеральных трассах остается ключевой задачей исполнительной и законодательной власти, научных и предпринимательских сообществ.

Анализ оперативных данных о состоянии дорожного движения позволяет выявить проблемные зоны в системе организации и обеспечения безопасности дорожного движения. Агрегированная статистика за десятилетия по крупным транспортным маршрутам помогает обнаружить взаимосвязи между различными параметрами.

С использованием современных методов машинного обучения, в том числе классификации и прогнозирования, можно выявить связи между параметрами в информационной системе дорожного движения и спрогнозировать возможные происшествия [13, 14].

Материал и методы

Методы машинного обучения широко применяются для предсказания и анализа ДТП (дорожно-транспортных происшествий) благодаря своей способности обрабатывать большие объемы данных и выявлять сложные закономерности. Они могут анализировать различные факторы, такие как погодные условия, состояние дороги, поведение водителей и другие параметры, чтобы предсказать вероятность возникновения ДТП в определенном месте и времени. В статье [1] анализируются ежедневные данные о дорожно-транспортных происшествиях, произошедших в одном из районов Португалии в период с 2016 по 2019 год. Исследование направлено на выявление факторов, способствующих наличию пострадавших в ДТП, а также факторов, влияющих на тяжесть последствий, включая летальные и/или серьезные травмы. Проводится сравнение методов машинного обучения и классических статистических методов, показано, что для небольшого объема данных методы машинного обучения не превосходят классические, однако на больших наборах данных их эффективность сравнима. В статье [2] проводится сравнительный анализ эффективности прогностических моделей машинного обучения, таких как наивный байесовский классификатор, случайный лес, логистическая регрессия и нейронные сети, в прогнозировании тяжести травм в дорожно-транспортных происшествиях на основе различных факторов. Исследование включает анализ десятилетних данных о дорожно-транспортных происшествиях в Великобритании. Производится сравнительный анализ различных классификаторов. В исследовании [3] для аналогичной задачи использованы данные от Департамента транспорта Техаса с 2011 по 2021 год, авторы рассматривают различные алгоритмы машинного обучения, включая логистическую регрессию, метод ближайших соседей, метод опорных векторов, случайный лес и XGBoost.

© Б.В. ЛУКАШОВ, С.А. ЕВТЮКОВ, Р.В. ЛУКАШОВ, С.А. ПАВЛОВ, 2024

Результаты сравниваются и анализируются с учетом вклада различных факторов, таких как внимание водителя, контроль скорости и прочих. В статье [4] описана методика прогнозирования дорожно-транспортных происшествий с использованием подходов машинного обучения. Различные модели были обучены на 1,6 миллионах записей о ДТП с 2005 по 2015 годы. Ключевые факторы, влияющие на тяжесть ДТП, были определены с использованием случайного леса и дерева решений. В дальнейшем предлагается интеграция модели с системой предупреждения и отслеживания для полиции с целью принятия мер по предотвращению ДТП.

В статье [5] описано исследование подсистемы по формированию интеллектуальной транспортной системы, представлены целевые индикаторы опасности и определены перспективные направления исследований.

Подготовка данных

В настоящее время учет ДТП происходит по составленным протоколам с места ДТП с уже установленной причинной опасной ситуации. Для более сложных случаев для реконструкции дорожно-транспортных ситуаций прибегают к помощи экспертов. Основным параметром, который необходимо зафиксировать на месте ДТП является коэффициент сцепления, который при различном уровне содержания автодорог может отличаться по различным причинам [6, 15]. В этой статье рассмотрен практический статистический анализ данных в прикладных задачах автодорожной отрасли.

В данной работе рассматривались 2 массива данных: статистика ДТП трассы М-1 «Беларусь», значения коэффициента сцепления на автодороге М-1 «Беларусь» (около 4500 строчек в каждом массиве). Данные были приведены в числовой вид и очищены.

Информация по сцеплению изначально представляла некоторую величину, соответствующую полосе, направлению, участку автодороги и год измерения. Для анализа были взяты средние значения по всем полосам на участке для каждого направления, поскольку данные по ДТП не содержали информации о конкретной полосе. Таким образом, для каждого ДТП есть возможность сопоставить свое значение коэффициента сцепления.

Данные по ДТП были соотнесены с данными по качеству дорог, а также с статистикой погоды, включающей в себя температуру, ветер и наличие осадков.

Таблица 1 – Типы ДТП

№	Тип ДТП	Код
1	Наезд на пешехода	0
2	Наезд на пешехода вне пешеходного перехода	0
3	Наезд на пешехода в зоне пешеходного перехода: нерегулируемый	0
4	Столкновение	1
5	Столкновение попутное/боковое	1
6	Столкновение встречное	1
7	Наезд на препятствие	2
8	Наезд на стоящее транспортное средство	2
9	Наезд на стоящее транспортное средство в полосе	2
10	Наезд на стоящее транспортное средство на обочине	2
11	Наезд на велосипедиста	2
12	Наезд на гужевой транспорт	2
13	Наезд на животное	2
14	Иной вид дорожно-транспортного происшествия	3
15	Опрокидывание	3
16	С участием автобуса	3
17	Падение пассажира	3
18	Съезд с дороги	3
19	Наезд на лицо, не являющееся участником дорожного движения, осуществляющее производство работ	3
20	Падение груза	3

Все ДТП были разделены на 4 типа (0 – наезд на пешехода, 1 – столкновение, 2 – наезд, 3 – иные).

Теория

Теоретическая основа используемых методов

Корреляция

Одним из наиболее известных инструментов для нахождения взаимосвязей между признаками является нахождения корреляций. Коэффициент корреляции Пирсона - это мера зависимости между двумя непрерывными переменными: если они положительно коррелированы, то одна переменная увеличивается, когда другая тоже увеличивается, и наоборот.

Формула для вычисления коэффициента корреляции Пирсона между переменными X и Y выглядит следующим образом:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (1)$$

где r - коэффициент корреляции Пирсона;

X_i и Y_i - значения переменных X и Y соответственно для i -го наблюдения;

\bar{X} и \bar{Y} - средние значения переменных X и Y соответственно;

n - количество наблюдений.

Данный коэффициент используется для оценки степени связи между переменными в статистическом анализе и машинном обучении.

Нормализация и стандартизация

Нормализация и стандартизация - это техники, используемые для преобразования масштаба признаков в наборе данных, делая их сравнимыми и улучшая сходимость алгоритмов машинного обучения [7].

Нормализация (также известная как Мин-Макс масштабирование) переносит признаки в фиксированный диапазон, обычно от 0 до 1. Это достигается путем вычитания минимального значения из каждого признака, а затем деления на диапазон признака.

$$X_s = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (2)$$

где X - исходное значение;

X_s - значение после преобразования;

X_{\min} - минимальное значение;

X_{\max} - максимальное значение.

Стандартизация, с другой стороны, преобразует признаки так, чтобы они имели среднее значение 0 и стандартное отклонение 1. Это достигается путем вычитания среднего значения каждого признака, а затем деления на его стандартное отклонение.

$$X_s = \frac{X - \mu}{\sigma}, \quad (3)$$

где μ - среднее значение признака;

σ - стандартное отклонение признака.

Кластерный анализ

В настоящей статье рассматриваются следующие методы кластеризации: метод k -средних (K -means) [8] для разбиения на кластеры и коэффициент силуэта (Silhouette) [9]. Метод K -средних является одним из наиболее широко используемых алгоритмов кластеризации, который разделяет набор данных на заранее заданное количество подмножеств, минимизируя среднее квадратичное расстояние между объектами и центрами масс (центроидами) кластеров:

$$J = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} \|x - \mu_i\|^2, \quad (4)$$

где J - сумма квадратов расстояний между точками и их центроидами;

C_i - кластеры;

μ_i - центры масс кластеров.

Алгоритм можно описать следующим образом:

- случайным образом расставляются центры массы;
- каждая точка данных относится к ближайшему центру массы;
- центры масс кластеров пересчитываются кластеров как среднее значение всех точек данных, принадлежащих каждому кластеру;
- шаги 2 и 3 повторяются до тех пор, пока и центры масс и кластеры не стабилизируются (изменение на последнем шаге меньше заданного числа).

Когда кластеризация завершается, каждая точка данных принадлежит одному из кластеров, и центры масс представляют собой средние значения для каждого кластера.

Один из популярных методов определения оптимального числа кластеров в наборе данных – метод локтя. Этот метод заключается в построении графика суммы квадратов расстояний внутри кластера (WCSS) от числа кластеров и определении точки, в которой происходит перегиб второй производной кривой.

$$WCSS = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (x_{ij} - c_j)^2, \quad (5)$$

где n - количество точек данных;

k - количество кластеров;

x_{ij} - i -я точка данных в j -м кластере;

c_j - центр масс j -го кластера.

WCSS рассчитывается как сумма квадратов расстояний между каждой точкой данных и их центром масс. При увеличении числа кластеров WCSS обычно уменьшается, поскольку кластеры становятся более компактными. Метод локтя - это визуальный метод, и поэтому оптимальное число кластеров не всегда может быть четко определено.

Коэффициент силуэта позволяет оценить качество разделения данных на кластеры, учитывая как внутрикластерные, так и межкластерные расстояния. Он описывается формулой:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}, \quad (6)$$

где $s(i)$ - коэффициент силуэта для точки i ;

$a(i)$ - среднее расстояние от точки i до всех остальных точек в том же кластере;

$b(i)$ - минимальное среднее расстояние от точки i до точек в другом кластере.

Максимальное значение коэффициента силуэта составляет 1, что указывает на плотные и хорошо разделенные кластеры, где каждая точка находится очень близко к другим точкам в своем кластере и далеко от точек в соседних кластерах. Нулевое значение силуэта же означает, что точка находится очень близко к границе между двумя кластерами, а отрицательное значение силуэта указывает на то, что точка была неправильно присвоена кластеру.

Факторный анализ

В контексте анализа ДТП идентификация наиболее важных факторов, которые определяют искомую характеристику происшествия, является ключевой задачей.

Факторный анализ - это статистический метод, который используется для анализа взаимосвязи между набором наблюдаемых переменных. Цель факторного анализа - выявить скрытые факторы или латентные переменные, которые могут объяснить корреляцию между наблюдаемыми переменными. Эти скрытые факторы могут представлять собой общие конструкции или причины, лежащие в основе наблюдаемых переменных.

Факторный анализ основан на предположении, что наблюдаемые переменные являются линейными комбинациями скрытых факторов плюс случайная ошибка. Математически это может быть представлено следующим образом:

$$X = LF + \varepsilon, \quad (7)$$

где X - матрица наблюдаемых переменных;

L - матрица факторных нагрузок, которая показывает веса, с которыми скрытые факторы входят в состав наблюдаемых переменных;

F - матрица скрытых факторов;

ε - матрица случайных ошибок.

В факторном анализе часто применяется процедура ротации факторов, которая направлена на упрощение интерпретации полученных факторов. Одним из распространенных методов ротации является ортогональная (varimax) ротация, которая стремится максимизировать дисперсию квадратов загрузок факторов по переменным, что способствует более четкой и ясной интерпретации.

Результаты и обсуждение

Для анализа этих значений была написана вычислительная программа для ЭВМ на языке Python. Для аналитики был использован интерактивный блокнот Jupyter Notebook с визуализацией при помощи библиотеки matplotlib и seaborn. Для алгоритмов машинного обучения и статистики были использованы утилиты из библиотек scipy и sklearn [10, 11].

С использованием факторного анализа были определены наиболее влияющие на ДТП признаки: качество дорог, освещенность, температура, осадки, ветер, километры. При помощи инструментов визуализации были построены следующие графики: результаты анализа экспериментальных значений коэффициента сцепления на автомобильных дорогах, статистических данных по дорожно-транспортным происшествиям с 2014 по 2023 г. на автомобильной дороге М-1 «Беларусь».

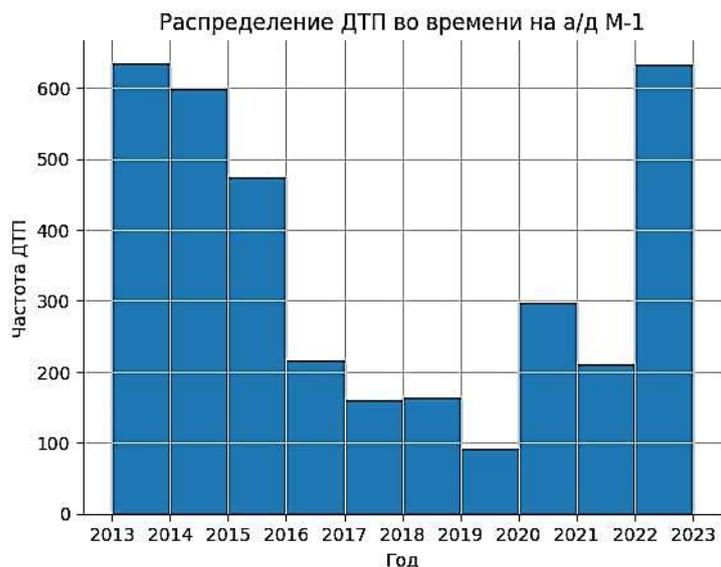


Рисунок 1 – М-1 «Беларусь». Временная гистограмма

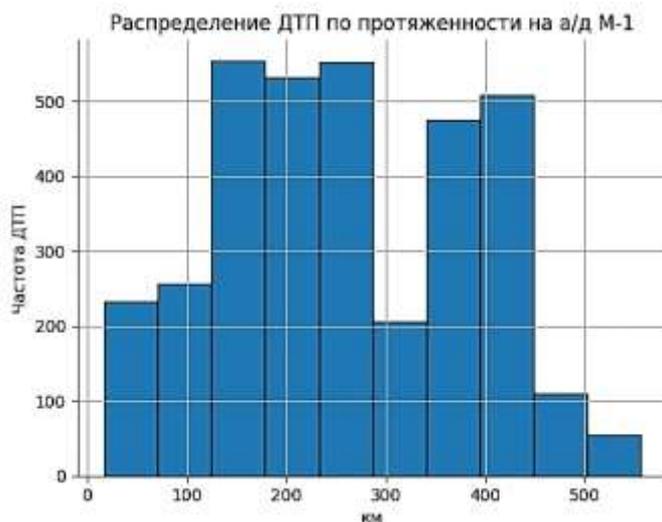


Рисунок 2 – М-1 «Беларусь». Пространственная гистограмма

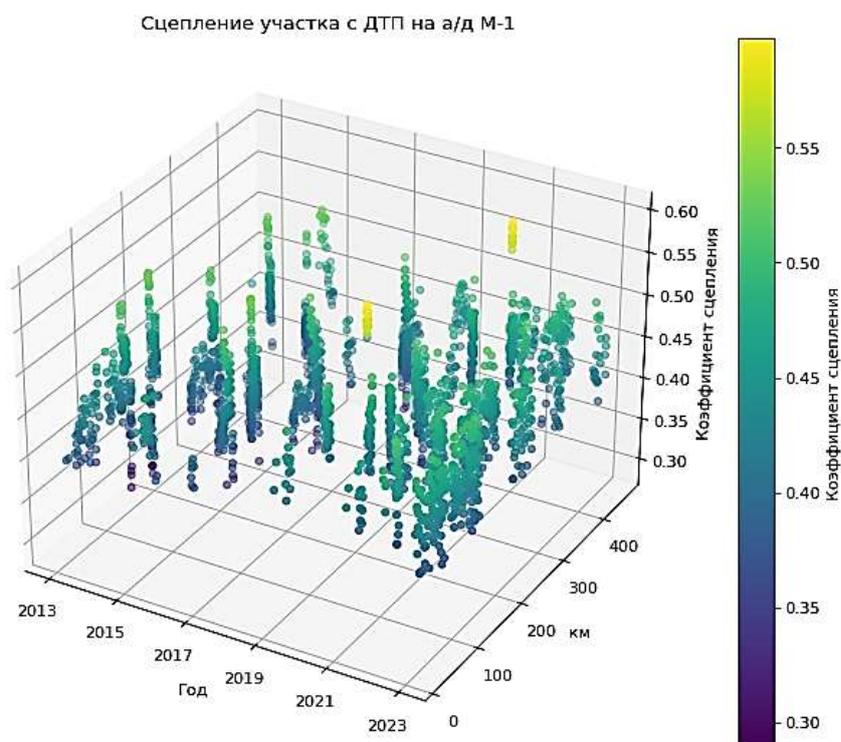


Рисунок 3 – М-1 «Беларусь». Коэффициент сцепления при ДТП

Используя коэффициент корреляции, были посчитаны взаимные корреляции разных признаков. Признаки оказались слабо коррелированы (рис. 4).

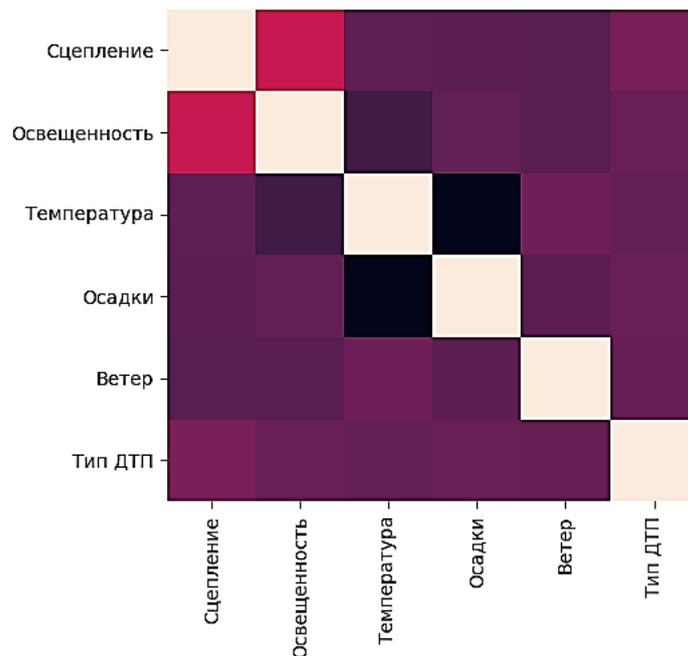


Рисунок 4 – Тепловая карта корреляций

При помощи алгоритма К-средних кластерного анализа была проведена кластеризация избранных признаков, результаты можно видеть на графиках рисунков 5 и 6 и в таблице 2. Количество кластеров было выбрано при помощи коэффициента силуэт.

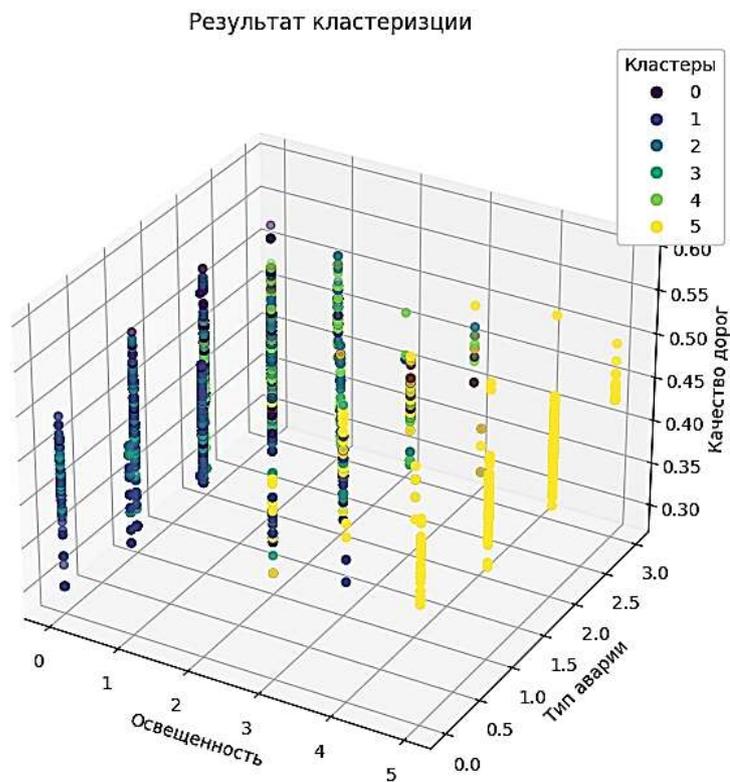


Рисунок 5 – Кластеры в осях Освещенность-Тип аварии-Качество дорог

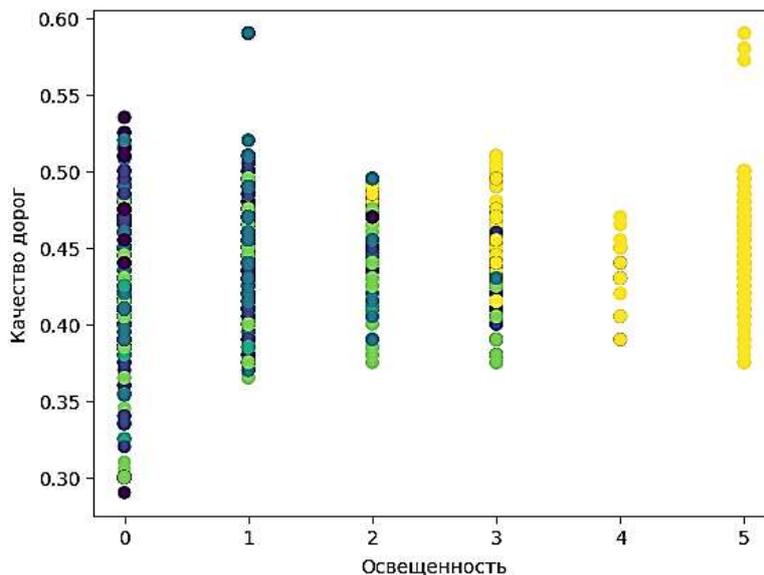


Рисунок 6 – Кластеры в осях Температура-Осадки

Произведена оценка влияния дорожных параметров на возникновение дорожно-транспортных ситуаций на основе кластерного анализа.

Таблица 2 – Средние значения внутри кластеров

Кластер	Сцепление	Свет	Температура	Осадки	Ветер	Км	Тип аварии
0	0.445	0.616	0.414	3.871	6.976	261.976	1.924
1	0.425	0.563	11.805	0.164	8.697	105.953	0.830
2	0.446	0.716	11.237	0.200	9.153	354.341	1.679
3	0.416	0.450	3.824	4.016	10.107	125.219	1.212
4	0.429	0.549	11.425	0.211	8.996	119.212	2.173
5	0.456	4.518	3.749	1.262	8.294	250.756	1.524

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что существует кластер аварий столкновений, связанный с околонулевой температурой (кластер 0), наезды на пешеходов происходят в основном вблизи населенных пунктов (кластеры 1 и 3), причем сильный ветер с осадками этому способствует (кластер 3). Также выделены аварии из-за отсутствия ночного освещения (кластер 5), что требует дальнейшего изучения возможности ограничения скорости на этих участках и размещения дополнительных источников освещения.

Выводы

Определены перспективные направления исследований для адаптации в Российской Федерации. Используемые методы программной обработки и анализа помогут исследователю обнаружить скрытые закономерности.

Можно отметить, что применение методов машинного обучения, кластерного анализа, факторного анализа и корреляционного анализа в анализе дорожно-транспортных происшествий (ДТП) представляет собой перспективный подход для исследования и понимания различных аспектов аварийности. Эти методы позволяют выявить закономерности, связи и факторы, влияющие на возникновение и тяжесть аварий, что может способствовать разработке эффективных мер по предотвращению ДТП и повышению безопасности дорожного движения. Исследования, основанные на анализе данных с применением указанных методов, имеют потенциал для выявления скрытых шаблонов поведения участников дорожного движения, определения наиболее опасных участков дорог и разработки инновационных подходов к улучшению дорожной инфраструктуры и транспортной безопасности в целом. В дальнейшем планируется использовать методы машинного обучения для прогнозирования ДТП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. Infante, G. Jacinto, A. Afonso, L. Rego, V. Nogueira, P. Quaresma, J. Saias, D. Santos, P. Nogueira, M. Silva, R.P. Costa, P. Gois, P.R. Manuel, Comparison of statistical and machinelearning models on road traffic accident severity classification. *Computers* 2022. Vol. 11. P. 80-11. 2022. doi:10.3390/COMPUTERS11050080. URL: <https://www.mdpi.com/2073-431X/11/5/80/html> <https://www.mdpi.com/2073-431X/11/5/80>
2. I.C. Obasi, C. Benson. Evaluating the effectiveness of machine learning techniques in forecasting the severity of traffic accidents [Электронный ресурс]. *Heliyon* 9. 2023. doi:10.1016/J.HELIYON.2023.E18812. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37560691/>
3. A. Celik, O. Sevli. Predicting traffic accident severity using machine learning techniques // *Turk Dogave Fen Dergisi* 11. 2022. P. 79-83. doi:10.46810/TDFD.1136432.
4. C. Chen. Analysis and forecast of traffic accident big data, *ITM Web of Conferences* 12. 2017. 04029. doi:10.1051/ITMCONF/20171204029.
5. Евтюков С.А., Лукашов Б.В. Исследование подсистемы выявления инцидентов интеллектуальной транспортной системы // *Вестник гражданских инженеров*. №1(90). С. 136-142. 2022.
6. Евтюков С.А., Лукашов Б.В. Метод оценки наличия технической возможности у водителя транспортного средства избежать ДТП с применением современных информационных и телематических технологий // *Мир транспорта и технологических машин*. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева. 2022.
7. A. Geron. *Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow* [Электронный ресурс]. O'Reilly Media, 2017. URL <https://www.oreilly.com/library/view/hands-on-machine-learning/9781492032632/>
8. S. P. Lloyd, Least squares quantization in pcm, *IEEE Transactions on Information Theory* 28. 1982. P. 129-137. doi:10.1109/TIT.1982.1056489.
9. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis, *Journal of Computational and Applied Mathematics* 20. 1987. P. 53-65. doi:10.1016/0377-0427(87)90125-7.
10. Waskom M. L. Seaborn: statistical data visualization, *Journal of Open Source Software* 6 [Электронный ресурс]. 2021. 3021. doi:10.21105/JOSS.03021. URL <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.03021>.
11. *Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python*, *Nature Methods* 17. 2020. P. 261-272. doi:10.1038/s41592-019-0686-2.
12. Евтюков С.А., Васильев Я.В. *Справочник по экспертизе ДТП*. СПб.: ООО Издательский дом «Петрополис», 2015. 512 с.

13. Куракина Е.В., Кравченко П.А., Лукашов Б.В. Метод оценки эффективности состояний в дорожно-транспортной среде по критерию «нулевой смертности» // ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», «Грузовик», 2023. С. 37-42.

14. Евтюков С.А., Куракина Е.В., Лукашов Б.В. Экспертиза ДТП с использованием БПЛА, комплексов выявления инцидентов и систем лазерного сканирования // Научно-технический и производственный журнал «Грузовик». 2024. №1. С. 30- 33.

15. Лукашов Б.В. Исследования параметров торможения коммерческих транспортных средств // Грузовик. 2024. №2. С. 43-44.

Лукашов Богдан Витальевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д. 2/5

Аспирант

E-mail: bogdan1099@yandex.ru

Евтюков Сергей Аркадьевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д. 2/5

Д.т.н., профессор

E-mail: s.a.evt@mail.ru

Лукашов Родион Витальевич

Санкт-Петербургский государственный университет

Адрес: 198504, Россия, Санкт-Петербург, Университетский проспект, 28Д

Аспирант

E-mail: rodion-lukashov@yandex.ru

Павлов Семён Анатольевич

Санкт-Петербургский государственный университет

Адрес: 198504, Россия, Санкт-Петербург, Университетский проспект, 28Д

Студент

E-mail: kot2022k@ya.ru

B.V. LUKASHOV, S.A. EVTYUKOV, R.V. LUKASHOV, S.A. PAVLOV

**STATISTICAL ANALYSIS OF ACCIDENT DATA
IN APPLIED TASKS**

***Abstract.** Investigation of the patterns of occurrence of traffic accidents on various highways, analysis of the level of traffic safety on expressways.*

***Keywords:** accident analysis, data analysis, cluster analysis*

BIBLIOGRAPHY

1. P. Infante, G. Jacinto, A. Afonso, L. Rego, V. Nogueira, P. Quaresma, J. Saias, D. Santos, P. Nogueira, M. Silva, R.P. Costa, P. Gois, P.R. Manuel, Comparison of statistical and machinelearning models on road traffic accident severity classification. Computers 2022. Vol. 11. P. 80 11. 2022. 80. doi:10.3390/COMPUTERS11050080. URL: <https://www.mdpi.com/2073-431X/11/5/80/htm> <https://www.mdpi.com/2073-431X/11/5/80>

2. I.C. Obasi, C. Benson. Evaluating the effectiveness of machine learning techniques in forecasting the severity of traffic accidents [Elektronnyy resurs]. Heliyon 9. 2023. doi:10.1016/J.HELIYON.2023.E18812. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37560691/>

3. A. Celik, O. Sevli. Predicting traffic accident severity using machine learning techniques // Turk Dogave Fen Dergisi 11. 2022. R. 79-83. doi:10.46810/TDFD.1136432.

4. C. Chen. Analysis and forecast of traffic accident big data, ITM Web of Conferences 12. 2017. 04029.

doi:10.1051/ITMCONF/20171204029.

5. Evtuykov S.A., Lukashov B.V. Issledovanie podsystemy vyyavleniya intsidentov intellektual'noy transportnoy sistemy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. №1(90). S. 136-142. 2022.

6. Evtuykov S.A., Lukashov B.V. Metod otsenki nalichiya tekhnicheskoy vozmozhnosti u voditelya transportnogo sredstva izbezhat' DTP s primeneniem sovremennykh informatsionnykh i telematicheskikh tekhnologiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. 2022.

7. A. Geron. Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow [Elektronnyy resurs]. O'Reilly Media, 2017. URL <https://www.oreilly.com/library/view/hands-on-machine-learning/9781492032632/>

8. S. P. Lloyd, Least squares quantization in pcm, IEEE Transactions on Information Theory 28. 1982. R. 129-137. doi:10.1109/TIT.1982.1056489.

9. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis, Journal of Computational and Applied Mathematics 20. 1987. R. 53-65. doi:10.1016/0377-0427(87)90125-7.

10. Waskom M. L. Seaborn: statistical data visualization, Journal of Open Source Software 6 [Elektronnyy resurs]. 2021. 3021. doi:10.21105/JOSS.03021. URL <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.03021>.

11. Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python, Nature Methods 17. 2020. R. 261-272. doi:10.1038/s41592-019-0686-2.

12. Evtuykov S.A., Vasil'ev YA.V. Spravochnik po ekspertize DTP. SPb.: OOO Izdatel'skiy dom "Petropolis", 2015. 512 s.

13. Kurakina E.V., Kravchenko P.A., Lukashov B.V. Metod otsenki effektivnosti sostoyaniy v dorozhno-transportnoy srede po kriteriyu «nulevoy smertnosti» // OOO «Izdatel'stvo «Innovatsionnoe mashinostroenie», «Gruzovik», 2023. S. 37-42.

14. Evtuykov S.A., Kurakina E.V., Lukashov B.V. Ekspertiza DTP s ispol'zovaniem BPLA, kompleksov vyyavleniya intsidentov i sistem lazernogo skanirovaniya // Nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyy zhurnal «Gruzovik». 2024. №1. S. 30- 33.

15. Lukashov B.V. Issledovaniya parametrov tormozheniya kommercheskikh transportnykh sredstv // Gruzovik. 2024. №2. S. 43-44.

Lukashov Bogdan Vitalevich

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, Saint Petersburg, Kurlandskaya str., 2/5
Graduate student
E-mail: bogdan1099@yandex.ru

Evtuykov Sergey Arkadevich

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, Saint Petersburg, Kurlandskaya str., 2/5
Doctor of technical sciences
E-mail: s.a.evt@mail.ru

Lukashov Rodion Vitalievich

St. Petersburg State University
Address: 198504, Russia, St. Petersburg, Peterhof, Universitetskiy Prospekt, 28D
Graduate student
E-mail: rodion-lukashov@yandex.ru

Pavlov Semyon Anatolyevich

St. Petersburg State University
Address: 198504, Russia, St. Petersburg, Peterhof, Universitetskiy Prospekt, 28D
Student
E-mail: kot2022k@ya.ru

Научная статья

УДК 656.11

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-52-60

Е.Г. МАЛКИНА, М.В. БУЙЛОВА, С.И. КОРЯГИН

АНАЛИЗ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ СОЧЛЕНЕННЫХ АВТОБУСОВ ПО УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА

Аннотация. Рассмотрен вопрос планирования маршрутов общественного транспорта, исходя из возможности использования на них автобусов особо большого класса в рамках существующей улично-дорожной сети города. Проведена оценка влияния геометрических параметров улиц и дорог города на безопасность движения. Показана необходимость проведения моделирования прохождения автобусом особо большого класса участков улично-дорожной сети на предлагаемом маршруте. Представлен вывод о возможности использования сочлененных автобусов на маршрутах городского пассажирского транспорта.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, радиус поворота, автобус особо большого класса, сочлененный автобус, динамический коридор, габаритный коридор; закругление дороги, траектория движения, кривые малого радиуса

Введение

Процесс проектирования маршрутной сети можно разбить на пять последовательных этапов. Один из этапов, который будет рассматриваться в целях данной работы – планирование маршрутов общественного транспорта [1]. Планирование включает в себя в том числе и выбор типа и класса транспортного средства. В частности, будет рассматриваться возможность использования на маршруте автобусов особо большого класса.

В связи с ростом жилой, коммерческой и иной застройки и соответственно с увеличением пассажиропотока необходимо рассмотреть возможность использования на городских маршрутах автобусов возможно большего класса для увеличения провозной способности общественного транспорта, для совершенствования обслуживания пассажиров и для повышения эффективности пассажирских перевозок [2]. Необходимо отметить наличие проблемы использования на улицах города сочлененных автобусов особо большого класса, так как их габаритная длина больше длины чаще эксплуатируемых на городских маршрутах автобусов большого класса. Принятая в нашей стране следующая классификация транспортных средств в зависимости от габаритной длины приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Классификация автобусов

Класс ТС	Габаритная длина, м	
	ОН 025 270-66	Федеральный закон от 13.07.2015 N 220-ФЗ
особо малый	до 5,5 включительно	до 5 метров включительно
малый	от 6 до 7,5	от 5 метров до 7,5 метра включительно
средний	от 8,5 до 10 включительно	от 7,5 метра до 10 метров включительно
большой	от 11 до 12	от 10 метров до 16 метров включительно
особо большой (сочлененные)	от 16,5 до 24	более чем 16 метров

Согласно ОН 18716-73 «Автобусы. Ряд габаритных длин» автобусы особо большого класса в свою очередь подразделяются на два вида по конструктивной схеме: двухзвенные сочлененные; трехзвенные сочлененные [3]. Для целей настоящей работы под понятием сочлененный автобус подразумевается автобус с двухзвенной конструктивной схемой.

Разработка нового маршрута с использованием автобусов особо большого класса требует обследования состояния существующей улично-дорожной сети (далее – УДС), в том числе ширины полос и количества полос движения, а также динамического коридора рассматриваемых длинномерных транспортных средств.

© Е.Г. МАЛКИНА, М.В. БУЙЛОВА, С.И. КОРЯГИН, 2024

В условиях сложившейся в течение длительного времени планировочной схемы города и исторической застройки при оценке возможности использования на маршруте сочлененных автобусов необходимо применять один из принципов построения эффективной маршрутной сети города, предложенный автором Бурлуцким А.А., а именно учитывать при трассировании автобусных маршрутов транспортно-эксплуатационные показатели дорожной сети [4].

В данной статье рассматривается вопрос проектирования маршрутов общественного транспорта в рамках уже существующей УДС города Калининграда. На закруглениях малых радиусов занимаемая транспортным средством (далее – ТС) область проезжей части увеличивается [5]. Как упоминается в Программе комплексного развития транспортной инфраструктуры городского округа «Город Калининград» на 2017-2035 годы, утвержденной Решением городского Совета депутатов города Калининграда Калининградской области от 25 декабря 2017 г. № 343 (далее - ПКРТИ), большая часть магистралей на территории города Калининграда не соответствует параметрам, предусмотренным СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» (далее - СП 34.13330.2012) и СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (далее - СП 42.13330.2016) для соответствующих категорий дорог и улиц, ни по количеству полос движения в одном направлении, ни по радиусам поворотов. Поэтому эксплуатация таких крупногабаритных ТС возможна не на всех улицах города, а только при соответствии допустимых для автобусов радиусов поворота и радиусов закруглений сопряжений пересекающихся или примыкающих дорог. В виду чего из необходимости маневрировать и разворачиваться для движения в обратном направлении сочлененные автобусы должны эксплуатироваться по таким улицам, где есть перекрестки с круговым движением, отсутствуют крутые повороты, а на протяжении всего маршрута есть возможность совершать маневры безопасно.

В аспекте возможности эксплуатации автобусов особо большого класса на существующей УДС рассмотрим магистральные улицы в соответствии с классификацией, принятой в СП 42.13330.2016, с шириной полосы 3,5-3,75 м, а также дороги межмуниципального значения, пролегающие в черте городского округа, по которым осуществляется транспортная связь с отдаленными районами города. По улицам местного значения на проезжей части узких перекрестков, особенно там, где одна полоса движения данного направления, и одна для встречного, автобусы особо большого класса при маневре правого поворота окажутся вне габарита крайней правой полосы, что будет создавать потенциально аварийную ситуацию, провоцировать ДТП, задерживать пропускную способность фазы светофора на перекрестках и снижать среднюю скорость на маршруте.

Материал и методы

Одной из задач, решаемых в рамках функционирования транспортной инфраструктуры является оценка текущего состояния УДС [6]. Исследование УДС города выполняется на магистральных улицах города общегородского и районного значения, нормативная ширина полос движения которых предполагается равной 3,5-3,75 м. Магистральная улица общегородского значения по требованиям СП 42.13330.2016 должна быть не менее четырёх полос (4; 6 или 8), а районного значения – 2 или 4 полосы. По Правилам классификации автомобильных дорог в Российской Федерации их отнесения к категориям автомобильных дорог, утвержденным постановлением Правительства РФ от 28 сентября 2009г. №767 и (далее – Правила классификации №767) и по СП 34.13330.2012 дороги принято классифицировать по категориям. В целях проектирования маршрутов автобусов особо большого класса были рассмотрены улицы, которые, исходя из ширины полос движения, должны относиться к категории IV или II, так как даже на улицах районного значения, не говоря уже об улицах местного значения, из-за несоответствия габаритов и радиусов поворотов сочлененных автобусов и радиусов сопряжении пересечений данных улиц, невозможна безопасная эксплуатация рассматриваемых ТС.

По результатам исследований, проводимых в 2019-2020 гг Научно-исследовательским и проектным институтом территориального развития и транспортной инфраструктуры г.

Санкт-Петербурга при создании предшествующей редакции Комплексной схемы организации дорожного движения (КСОДД), 63,6 км дорог не соответствовали параметрам магистральной улицы, что составляло 31,85 % от всей протяженности магистральной сети. Среди таких улиц были — Суворова, Дзержинского, Емельянова, Горького, Гагарина. Здесь следует отметить, если улица общегородского значения не соответствует нормативам СП 42.13330.2016 в части ширины полос или их количества, значит улица признана таковой по ее назначению в соответствии с картой развития городских магистралей и УДС Генерального плана Городского округа «город Калининград», утвержденного Постановлением Правительства Калининградской области №474 от 05.08.2021 (далее - Генплан), и ПКРТИ.

Для оценки возможности проектирования маршрута с использованием автобусов особо большого класса на центральных магистралях города были проведены натурные исследования проезжей части с использованием сервиса «Яндекс карты». По итогам натурального исследования была получена фактическая ширина полос крупнейших улиц общегородского значения по перегонам и было оценено количество полос движения на данных улицах. Был сделан вывод, что 24 % магистральных улиц общегородского значения не соответствует нормативам СП 42.13330.2016 по ширине полос (рис. 1 а). Ширина полос важна для безопасности движения сочлененного автобуса, так как при маневрах поворота и разворота занимаемая ТС площадь проезжей части увеличивается, и крупногабаритному ТС необходимо иметь для этого возможно более широкую полосу движения. Также установлено, что 27 % не соответствуют нормативам по количеству полос (рис. 1 б). Например, на улицах, где одна полоса движения для данного направления и одна для встречного, автобусу особо большого класса будет затруднительно для маневра, например, правого поворота на пересечении в одном уровне, дважды выезжать на встречную полосу (сначала до въезда на перекресток, чтобы оставить больше места от правой стороны до тротуара, а следом на встречную полосу пересекаемой дороги, если она тоже имеет только две полосы движения).

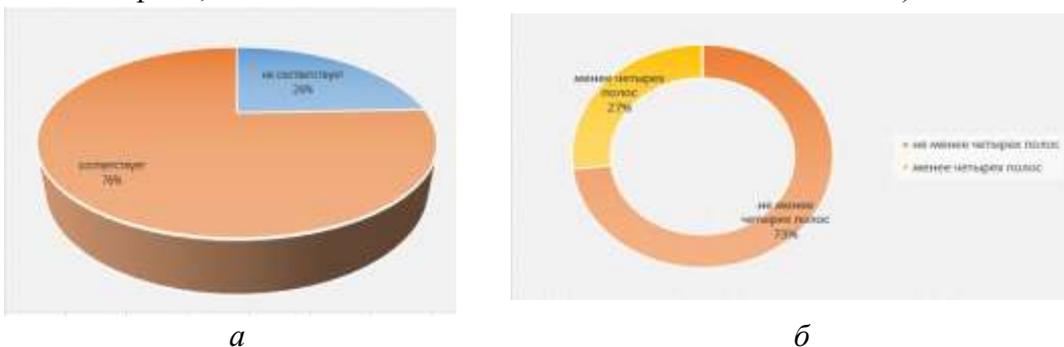


Рисунок 1 - Доля магистралей, параметры которых не соответствуют нормативам:
а – по ширине полос; б – по числу полос

Теория и расчет

Геометрические параметры дороги (конфигурация перекрестков, радиус поворота, ширина проезжей части), необходимо учитывать при проектировании маршрутов общественного транспорта [6], так как перечисленные факторы являются элементами системы «В-А-Д-С» категории «Дорога» [7] и непосредственно влияют на безопасность движения ТС.

Возможность использования рассматриваемых длинномерных ТС оценена путем сравнения ширины динамического коридора расчетной модели автобуса, предложенной Абдуназаровым Ж.Н. [8], и ширины полос движения УДС на наиболее проблемных в аспекте прохождения поворотов по кривым малого радиуса перекрестках. Динамическим коридором называется область проезжей части, необходимая для безопасного движения автобуса [9]. Без учета влияния скорости движения на изменение траектории динамический коридор в повороте можно определить по формуле [5]:

$$ДК = R_H - R_B, \quad (1)$$

где ДК – динамический коридор автобуса в повороте;

R_n – наружный габаритный радиус;

$R_{в}$ – внутренний габаритный радиус.

Следовательно, для расчета динамического коридора сочлененного автобуса используются следующие параметры [8]: минимальный внешний радиус поворота (наружный габаритный радиус), равный 14,21 м, и минимальный внутренний радиус (внутренний габаритный радиус), равный 10,10 м. Тогда максимальная ширина динамического коридора автобуса при развороте на 180 градусов равна 4,11 м. Следовательно, динамический коридор расчетного автобуса ни в одном повороте не должен по расчетам превысить данного максимального значения. Проверим данное утверждение в программе IndorCAD/Road.

В программе IndorCAD/Road есть возможность автоматизировано рассчитать коридоры движения ТС. Благодаря этой программе можно проверять возможность проезда крупногабаритных ТС по сложным участкам при планировании маршрутов движения [10]. Также можно выполнить проверку нескольких траекторий поворотов для выбранного ТС.

Рассмотрим соответствие расчетной максимальной ширины динамического коридора при маневре разворота с моделью динамического коридора, выполненной в программе IndorCAD/Road. На магистральной улице общегородского значения, имеющей 6 полос движения и разделительную полосу, свободно с крайней левой полосы, шириной 3,5 м (рис. 1 а), осуществляют разворот автобусы большого класса, длиной 12 м. Однако для ТС с увеличенной базой как у сочлененного автобуса необходимо при окончании маневра оказаться ближе к центру проезжей части и дальше от тротуара, для того чтобы поместиться в ширину проезжей части. Кроме того, автобусу особо большого класса необходимо ввиду большей базы смещать центр разворота, чтобы в данном случае не наехать задними колесами на бордюрный камень разделительной полосы, поэтому при развороте такому ТС необходимо предварительно «вильнуть» из левой полосы вправо на метр-полтора в соседнюю полосу. Таким образом ТС «берет радиус», а точнее смещает центр разворота (рис. 2).



Рисунок 2 – Динамический коридор сочлененного автобуса при развороте

В результате моделирования наблюдаем, что максимальная ширина динамического коридора оказалась минимум в два раза шире самой ширины автобуса, составляющей 2,5 м, (рис. 2 б), т.е. составила не менее 5 м. Расчетная же ширина составляла 4,11 м. Отсюда делаем вывод, что расчетная модель, предложенная Абдуназаровым Ж.Н. [8], не учитывает необходимость смещения при маневре и соответственно увеличение ширины динамического коридора в реальном движении.

Для того чтобы автобусы особо большого класса не создавали потенциально аварийные ситуации, не провоцировали ДТП, не задерживали пропускную способность фазы светофора на перекрестках и не снижали среднюю скорость на маршруте, маршруты должны быть проложены по УДС с плавными сопряжениями пересекающихся дорог. Например, перекрестки с круговым движением обеспечивают хорошие условия для разворота крупногабаритных ТС, что позволяет организовывать в таких местах конечные пункты маршрутов с использованием автобусов особо большого класса [11]. Для проектирования новых маршрутов

должны быть сопоставлены динамический коридор модели сочлененного автобуса и ширина полос на конкретных участках планируемого маршрута. Для этого должны быть рассмотрены перекрестки, на которых ТС необходимо совершать маневры поворота.

При планировании нового маршрута также необходимо проанализировать существующую в городе маршрутную сеть. Сеть пассажирского транспорта города Калининграда включает 32 автобусных маршрута, на которых представлены автобусы большого класса. Эти маршруты обеспечивают связь центра города с периферией, и основная часть их проходит через главные артерии города. Опыт использования сочлененных автобусов (маршрут №5 «Силикатный завод – ул. Кошевого и служебный маршрут «аэропорт Храброво») показывает, что на центральных улицах города возможна безопасная эксплуатация ТС данного класса. Однако, для существующих маршрутов не проводилось моделирование прохождения автобусом особо большого класса участков разворотов/поворотов на конечных станциях существующих в городе маршрутов автобусов.

В основном маршруты пролегают по рассмотренным нами магистральным улицам общегородского значения. Отметим, что одним из основных факторов, влияющих на безопасность движения автобусов на маршрутах города, является проезд регулируемых пересечений [12] в связи с высокой аварийностью на данных участках. Кроме того, необходимо рассмотреть пересечения в одном уровне (регулируемые и не регулируемые) с дорогами районного значения и конечные станции, где необходимо проверить возможность безопасного проезда сочлененных автобусов. При всем многообразии маршрутов, конечных станций и подъездов к ним, где возможен разворот для движения в обратном направлении, гораздо меньше.

Объектом анализа геометрических параметров УДС выбран регулируемый перекресток магистральных улиц общегородского значения, одна из которых (Московский пр-т) имеет 6 полос движения, где ширина крайней правой полосы не менее 3,5 м, а другая (Литовский вал) – 3 полосы движения: 2 для въезда на перекресток по 3,75 м каждая, и одну для выезда с него, шириной 4 м (рис. 3).



Рисунок 3 – Траектории моделей сочлененных автобусов на пересечении ул. Литовский вал – Московский пр-т

Здесь нецелесообразно использовать сочлененные автобусы по причине того, что даже выполняя правый поворот с заездом на соседнюю полосу, автобус особо большого класса вынужден заезжать и на встречную полосу движения, чтобы задний свес безопасно вошел в поворот. Кроме того, и в обратном направлении даже при повороте с крайней правой полосы влево, прицеп тягача оказывается на соседней полосе движения при то, что правый угол переднего свеса автобуса едет максимально близко к ограждению. Аналогичная ситуация складывается при поворотах направо на таких перекрестках, как ул. Невского – ул. Артиллерийская, ул. Невского – ул. Куйбышева. Их отдельно рассматривать не будем.

Одним из сложных участков для движения автобусов особо большого класса является

пересечение в одном уровне магистральных улиц районного значения, одна из которых (Батальная) имеет 2 полосы по 4 м в обоих направлениях, вторая (Автомобильная) – 3 полосы, две на въезде на пересечение и одну на выезд с него (рис. 4). Сочлененный автобус при повороте налево на данном нерегулируемом т-образном перекрестке будет вынужден заехать сначала в соседнюю полосу, предназначенную для поворота направо, а затем при завершении маневра прицепом - на встречную полосу пересекаемой дороги. Поворачивая направо, ТС дважды оказывается на полосе встречного движения, чтобы «взять радиус» и чтобы не задеть задними колесами бордюрный камень.



Рисунок 4 – Траектории моделей сочлененных автобусов на пересечении ул. Автомобильной и ул. Батальной

Аналогично затруднительно будет совершить левый поворот с ул. У. Громовой на ул. Интернациональную и обратно правый поворот, где, кстати, в данном направлении всего одна полоса движения и размеры перекрестка не велики.

В плане маневров разворота для движения в обратном направлении интересно рассмотреть некоторые конечные остановки, которые представляют собой разворотные площадки. Например, СНТ «Победа», куда проложен маршрут № 7. Весьма населенный район города, но размеры и форма разворотного кольца не позволяют автобусу особо большого класса безопасно закончить маневр из-за наличия строений и припаркованных легковых машин, а также стоящих на отстое автобусов длиной (рис. 5 а, б).



а



б

Рисунок 5 – Конечная остановка СНТ «Победа»: а – траектория 1; б – траектория 2

Кроме того, это единственное место для маршрута №7, где возможно встать на обеденный перерыв.

Рассмотрим также обе конечные маршрута №37. Что касается ул. Кошевого, это также конечная маршрута №5, где несколько лет назад эксплуатировался сочлененный автобус. Но в связи с тем, что маршрутов на это конечной не убавилось, стоять на обеде сочлененному автобусу здесь не представляется возможным. Аналогично без отстоя придется уходить и с другой конечной в виду ограниченности площади проезжей части (рис. 6 а, б).

Аналогичная проблема недостаточной площади разворотного кольца присутствует и на других конечных, например, район Северная гора (конечная автобуса №25 и др.).



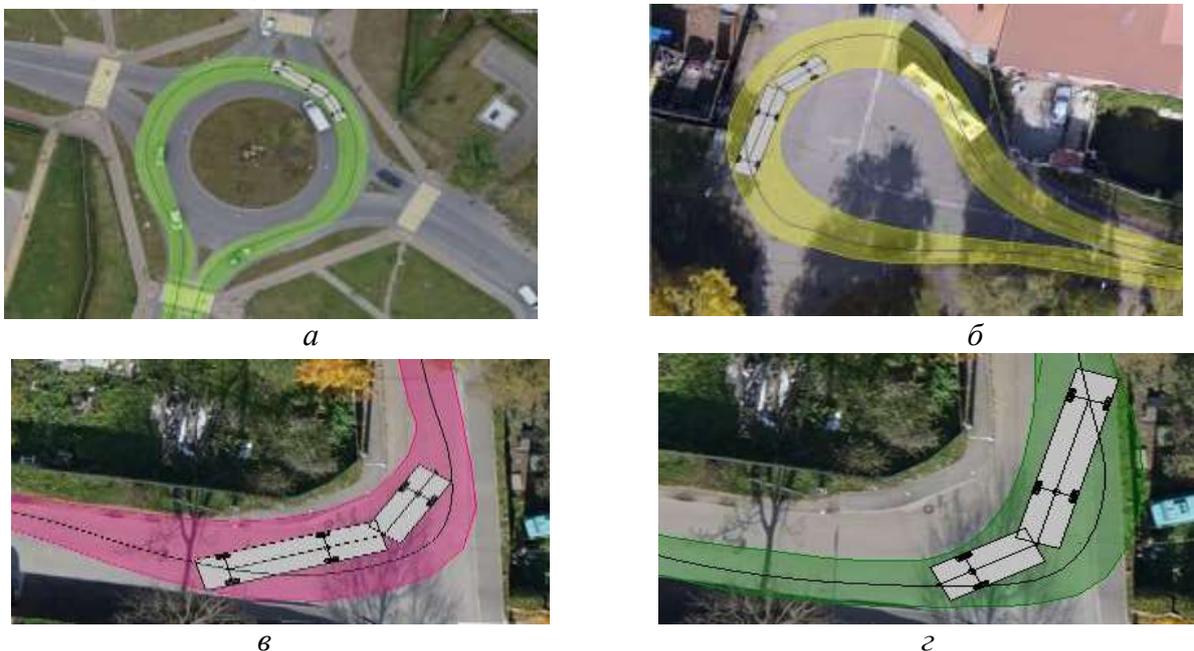
а *б*
Рисунок 6 – Конечные остановки маршрута №37
а – ул. Кошевого; *б* – пос. Прибрежное

Таким образом, для планирования маршрута нужно учесть не только возможные безопасные траектории движения ТС на перегонах и на конечных, но и место отстоя для обещенного перерыва, во время которого автобус не будет создавать помех другим ТС.

Результаты и обсуждение

Предложен новый маршрут для автобусов особо большого класса: ул. Аксакова - ул. П Покрышкина - ул. Ю. Гагарина - ул. Литовский вал - ул. Черняховского – Советский пр-т – ул. Горького – ул. Автомобильная - ул. Янтарная – Северная гора.

На рисунке 7 представлены наиболее сложные участки для движения ТС.



а *б* *в* *г*
Рисунок 7 – Новый маршрут

а – конечная ул. Аксакова; *б* – конечная Северная гора; *в, г* – повороты на ул. Янтарную с ул. Янтарной

Предлагаемый маршрут имеет следующие преимущества:

- соединяет район ул. Аксакова (конец Московского пр-та) с центром города, ул. Горького и Северной горой;
- маршрут проходит, минуя негабаритный поворот с оживленного перекрестка с Московского пр-та на Литовский вал. Здесь правый поворот будет осуществляться по плавным сопряжениям с улицей Ю. Гагарина;
- маршрут проложен по магистральным улицам общегородского значения, через перекрестки с круговым движением (пл. Марш. Василевского, ул. Гайдара), далее через плавный съезд с ул. Горького на ул. Автомобильную, что обеспечивает безопасность движения.

Недостатки:

- негабаритный узкий выезд с ул. Янтарной на ул. Клары Цеткин и обратно;
- небольшая площадь разворотного кольца на Северной горе.

Выводы

Моделирование траекторий автобусов особо большого класса на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог в одном уровне, на развязках в разных уровнях, а также на разворотных кольцах и конечных станциях должно стать обязательным при планировании новых маршрутов городского общественного транспорта. Кроме того, необходим именно автоматизированный расчет динамического коридора сочлененных автобусов [13]. Оценка траектории ТС и динамического коридора при планировании маршрута автобуса дает возможность до запуска движения сделать вывод, позволяют ли геометрические параметры транспортной развязки и пересечений и примыканий дорог обеспечить безопасный проезд по ним автобусов особо большого класса, и в обратном случае скорректировать маршрут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якимов М.Р. О подходах к формированию эффективной системы пассажирского транспорта общего пользования // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2019. №8. С. 10-18. DOI 10.25198/2077-7175-2019-8-10. EDN MIQCTR.
2. Буйлова М.В. Формирование маршрутных сетей городского общественного транспорта // Техно-технологические проблемы сервиса. 2022. №1(59). С. 45-52. EDN TDWBJE.
3. Яценко С.А. Классификация автобусных транспортных средств в системе городского пассажирского транспорта [Электронный ресурс] / Вестник ИрГТУ. 2011. №10 (57). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-avtobusnyh-transportnyh-sredstv-v-sisteme-gorodskogo-passazhirskogo-transporta>.
4. Бурлуцкий А.А., Елугачев П.А. Развитие подхода к совершенствованию маршрутной схемы пассажирского транспорта крупного города // Мир транспорта. 2020. Т. 18. №4(89). С. 174-187. DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-174-187. EDN MAHNDQ.
5. Лавров С.Е. Вопросы обеспечения безопасности движения автотранспорта на закруглениях малых радиусов в городских условиях // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей. Самара: Самарский государственный технический университет. 2018. С. 193-198. EDN PIQAND.
6. Буйлова М.В., Корягин С.И. Методика формирования набора базовых маршрутов как этапа проектирования маршрутной сети городского общественного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-3(82). С. 75-81. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-75-81. EDN QOZGHE.
7. Басков В.Н., Исаева Е.И. Влияние параметров УДС на формирование мест концентрации ДТП // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-5(82). С. 49-57. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-49-57. EDN NRENIS.
8. Абдуназаров Ж.Н., Мамарасулова М.Н. Рекомендуемые параметры расчетных автомобилей для Российской Федерации // Молодой ученый. 2016. № 7-2(111). С. 26-29.
9. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория. Минск: Высш. шк., 1986.
10. Бойков В.Н., Мирза Н.С., Петренко Д.А., Скворцов А.В. IndorCAD 10 как BIM-инструмент анализа проектных решений и обнаружения коллизий // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. №2(5). С. 108-113. DOI 10.17273/CADGIS.2015.2.16. EDN ULNWUN.
11. Капский Д.В., Головнич А.К., Вигерина Т.В. [и др.] Развитие городского транспорта в городах Полоцке и Новополоцке // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2020. №11. С. 85-97. EDN JAUKSD.
12. Горбачев С.В. Разработка методики оценки сложности маршрутов при перевозке пассажиров с учетом уровня безопасности транспортных ситуаций // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. №1. С. 82-89. DOI 10.25198/2077-7175-2020-1-82. EDN JEDWDB.
13. Скворцов А.В., Байгулов А.Н., Мотуз В.О. Траектории движения и расчёт динамических коридоров транспортных средств в IndorCAD/Road // Дорожная держава. 2012. №43. С. 30-33. EDN TIXVSF.

Малкина Елизавета Геннадьевна

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта
Адрес: 236029, Россия, г. Калининград, ул. Озерова, д. 57
Магистрант
E-mail: lizzzy19@gmail.com

Буйлова Мария Валерьевна

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта
Адрес: 236029, Россия, г. Калининград, ул. Озерова, д. 57
Старший преподаватель ОНК Институт высоких технологий
E-mail: MBuilova@kantiana.ru

Корягин Сергей Иванович

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта
Адрес: 236029, Россия, г. Калининград, ул. Озерова, д. 57
Д.т.н., профессор ОНК Институт высоких технологий
E-mail: SKoryagin@kantiana.ru

E.G. MALKINA, M.V. BUILOVA, S.I. KORYAGIN

ANALYSIS OF MOVEMENT TRAJECTORIES OF ARTICULATED BUSES ACROSS THE CITY ROAD NETWORK

Abstract. The issue of designing public transport routes is considered, based on the possibility of using extra-large class on them within the framework of the existing urban road network of Kaliningrad. An assessment of the influence of the geometric parameters of city streets and roads on traffic safety was carried out. Based on the data obtained, a simulation of the passage of a particularly large class of sections of the road network by bus on the proposed route was carried out. A conclusion is presented about the possibility of using articulated buses in the city of Kaliningrad.

Keywords: road network, turning radius, an extra-large class bus, articulated bus, dynamic corridor, overall corridor, rounding of the road, curve of the road, trajectory of movement, small radius curves

BIBLIOGRAPHY

1. Yakimov M.R. O podkhodakh k formirovaniyu effektivnoy sistemy passazhirskogo transporta obshchego pol'zovaniya // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2019. №8. S. 10-18. DOI 10.25198/2077-7175-2019-8-10. EDN MIQCTR.
2. Buylova M.V. Formirovanie marshrutnykh setey gorodskogo obshchestvennogo transporta // Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa. 2022. №1(59). S. 45-52. EDN TDWBJE.
3. Yatsenko S.A. Klassifikatsiya avtobusnykh transportnykh sredstv v sisteme gorodskogo passazhirskogo transporta [Elektronnyy resurs] / Vestnik IrGTU. 2011. №10 (57). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-avtobusnyh-transportnyh-sredstv-v-sisteme-gorodskogo-passazhirskogo-transporta>.
4. Burlutskiy A.A., Elugachev P.A. Razvitie podkhoda k sovershenstvovaniyu marshrutnoy skhemy passazhirskogo transporta krupnogo goroda // Mir transporta. 2020. T. 18. №4(89). S. 174-187. DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-174-187. EDN MAHHD0.
5. Lavrov S.E. Voprosy obespecheniya bezopasnosti dvizheniya avtotransporta na zakrugleniyakh malykh radiusov v gorodskikh usloviyakh // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'stvo: sbornik statey. Samara: Samarskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. 2018. S. 193-198. EDN PIQAH0.
6. Buylova M.V., Koryagin S.I. Metodika formirovaniya nabora bazovykh marshrutov kak etapa proektirovaniya marshrutnoy seti gorodskogo obshchestvennogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-3(82). S. 75-81. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-75-81. EDN QOZGHE.
7. Baskov V.N., Isaeva E.I. Vliyaniye parametrov UDS na formirovaniye mest kontsentratsii DTP // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-5(82). S. 49-57. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-49-57. EDN NRENIS.
8. Abdunazarov Zh.N., Mamarasulova M.N. Rekomenduemye parametry raschetnykh avtomobiley dlya Rossiyskoy Federatsii // Molodoy uchenyy. 2016. № 7-2(111). S. 26-29.
9. Grishkevich A.I. Avtomobili: Teoriya. Minsk: Vyssh. shk., 1986.
10. Boykov V.N., Mirza N.S., Petrenko D.A., Skvortsov A.V. IndorCAD 10 kak BIM-instrument analiza proektnykh resheniy i obnaruzheniya kolliziy // SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog. 2015. №2(5). S. 108-113. DOI 10.17273/CADGIS.2015.2.16. EDN ULNWUN.
11. Kapskiy D.V., Golovnich A.K., Vigerina T.V. [i dr.] Razvitie gorodskogo transporta v gorodakh Po-lotske i Novopolotske // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki. 2020. №11. S. 85-97. EDN JAUKSD.
12. Gorbachev S.V. Razrabotka metodiki otsenki slozhnosti marshrutov pri perevozke passazhirov s uchetom urovnya bezopasnosti transportnykh situatsiy // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2020. №1. S. 82-89. DOI 10.25198/2077-7175-2020-1-82. EDN JEDWDB.
13. Skvortsov A.V., Baygulov A.N., Motuz V.O. Traektorii dvizheniya i raschiot dinamicheskikh koridorov transportnykh sredstv v IndorCAD/Road // Dorozhnaya derzhava. 2012. №43. S. 30-33. EDN TIXVSF.

Malkina Elizaveta Gennadievna

Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236029, Russia, Kaliningrad, Ozerova str. 57
Master's student
E-mail: lizzzy19@gmail.com

Koryagin Sergey Ivanovich

Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236029, Russia, Kaliningrad, Ozerova str. 57
Doctor of technical sciences
E-mail: SKoryagin@kantiana.ru

Builova Maria Valerievna

Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236029, Russia, Kaliningrad, Ozerova str. 57
Senior Lecturer
E-mail: MBuilova@kantiana.ru

Научная статья

УДК 621.822

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-61-67

Д.О. ЛОМАКИН, А.К. ПОЗДНЯКОВ, И.В. РОДИЧЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

Аннотация. В статье дано понятие подшипникового узла и причин, определяющих его выход из строя, а также предложен метод диагностирования технического состояния подшипниковых узлов с помощью экспериментальной установки.

Ключевые слова техническое диагностирование, подшипниковый узел

Введение

Подшипниковый узел – это конструкция, состоящая из подшипника качения или скольжения, который поддерживает вал или ось, обеспечивая их вращение с минимальным трением. Подшипниковые узлы играют ключевую роль в работе механического оборудования, обеспечивая свободное вращение валов, передачу силовых воздействий от двигателя к рабочим органам. Техническое состояние подшипников напрямую влияет на общее техническое состояние оборудования, поэтому важно обеспечивать их длительную и надежную работу.

Основные принципы технического обслуживания подшипников включают регулярный осмотр, контроль температуры, вибраций, шумов и других параметров, а также своевременную замену изношенных деталей. Техническое диагностирование подшипников позволяет выявить возможные проблемы на ранних стадиях, что позволяет своевременно принять меры и предотвратить более серьезные неисправности.

Теория

В промышленности фактические условия работы многих подшипников сложны. Внешние агрессивные среды или твердые абразивные частицы могут попасть в подшипник и привести к серьезным повреждениям и преждевременному выходу из строя. Различные типы отказов подшипников часто возникают из-за плохой смазки и различий во внешних нагрузках и ударах. Отказ подшипника может привести к вибрации подшипникового узла, заклиниванию вала и т.д., что в свою очередь приводит к выходу из строя машин и оборудования. Важно анализировать и систематизировать отказы подшипников для определения причин и предотвращения повторных отказов.

Отказ подшипника может возникнуть из-за воздействия большого количества разнообразных факторов. В результате проведения анализа работы подшипника на различных режимах работы можно определить причину его отказа, разработать предложения по улучшению конструкции подшипникового узла, а также дать рекомендации по его ремонту и эксплуатации, в результате выполнения которых возникновение отказа можно избежать.

Причинами отказа подшипников могут быть как условия производства (нарушение технологии изготовления, ошибки проектирования и т.п.), так и условия эксплуатации (нарушение условий эксплуатации, несоблюдение требований по техническому обслуживанию и т.п.). Для определения причин износа подшипников и последующего возникновения их отказов, необходимо знание их конструктивных особенностей, технологии изготовления, а также условий эксплуатации. Ниже рассмотрим некоторые конкретные виды отказа подшипников (рис. 1).

Одной из распространенных форм отказа является деформация элементов подшипников. Деформация возникает тогда, когда материал подвергается напряжению, превышающему предел его текучести. Это явление называется разрушением подшипников при пластической деформации (рис. 2).



Рисунок 1 – Структурная схема наиболее распространённых отказов подшипников



Рисунок 2 – Фотографии вышедших из строя компонентов различных подшипников в исходном состоянии: а - подшипник В-1, b - подшипник СМВ-1, с - подшипник СМВ-1, d - подшипник СМВ-2, e - EDP-1, f - EDP-1

Причинами разрушения подшипников при пластической деформации могут быть перегрузки при эксплуатации, высокая температура эксплуатации, неравномерная нагрузка, неправильная установка подшипников. Пластическая деформация даже одного элемента подшипника влияет на стабильность работы всего подшипникового узла (рис. 3).

На основе проведенного анализа можно дать следующие рекомендации по подбору и эксплуатации подшипников, в результате выполнения которых разрушение подшипников при пластической деформации можно избежать. Перед выбором подшипника для конкретного подшипникового узла необходимо проводить расчет рабочего напряжения сопрягаемых деталей подшипника и выбор соответствующего коэффициента запаса прочности в зависимости от условий эксплуатации. В результате проведенного расчета, произвести выбор соответствующего типа подшипника. При установке подшипников в подшипниковый узел необходимо избегать динамического воздействия, а также обеспечить качественную смазку. Кроме того, при установке подшипника должна быть соблюдена геометрическая точность установки и исключены отклонения в его расположении.

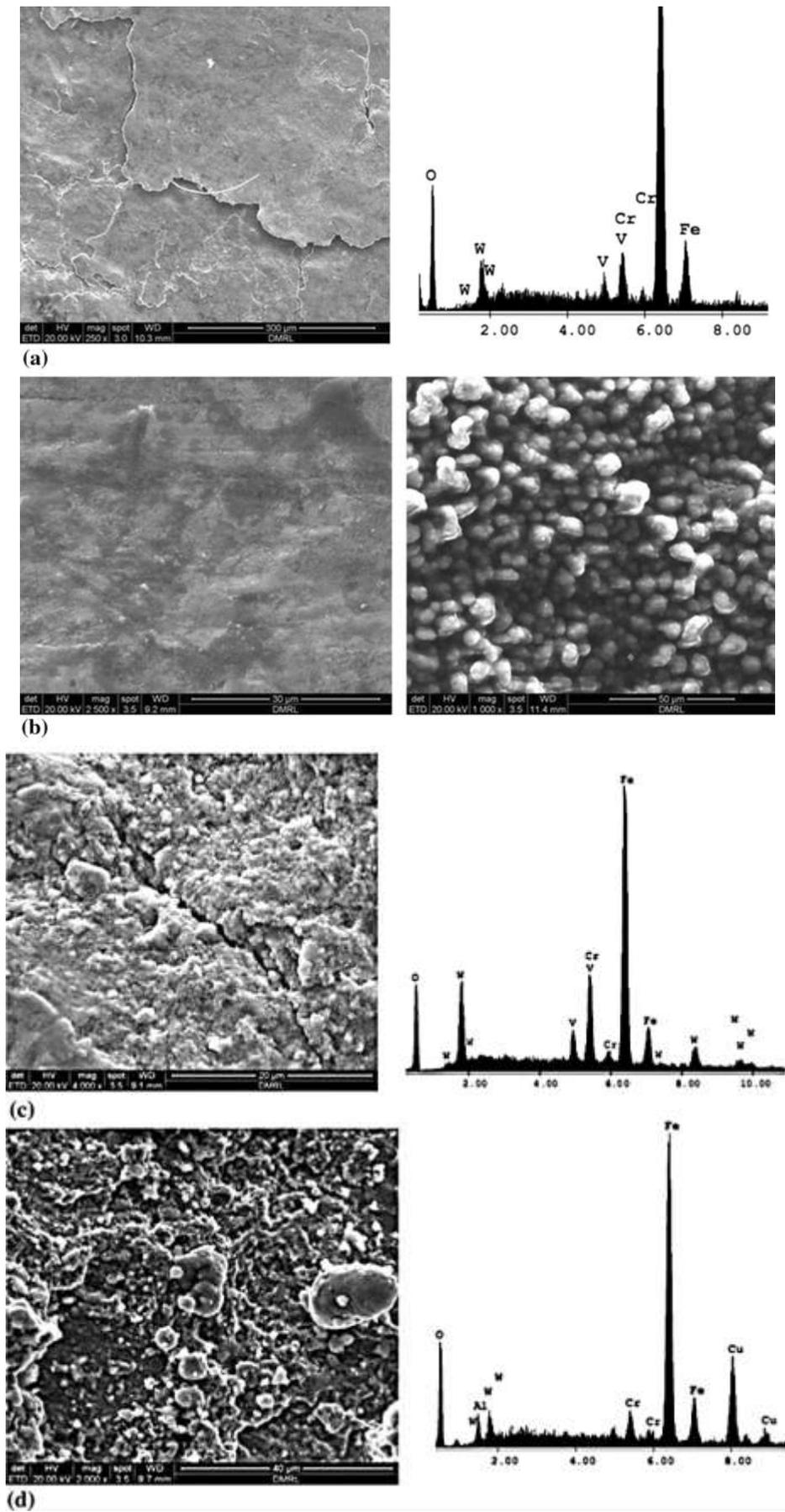


Рисунок 3 – Морфология изношенной поверхности:
a - наружной обоймы; b - внутренней обоймы; c – роликов; d - сепараторов

Материалы и методы

Способ диагностики технического состояния подшипников выбирается исходя из типа подшипника, места его установки, а также в зависимости от необходимой точности и скорости диагностики. Наиболее распространены два способа диагностики технического состояния подшипников. Это диагностика технического состояния подшипников по косвенным признакам и диагностика технического состояния подшипников по фактическому состоянию.

Диагностика технического состояния подшипников по косвенным признакам предполагает определение этих признаков с помощью таких методов как акустическая диагностика, вибрационная диагностика или анализ смазочных материалов подшипникового узла. Диагностика технического состояния подшипников по фактическому состоянию предполагает непосредственные измерения деталей подшипника с использованием измерительного оборудования (микрометров, индикаторов часового типа и т.п.). Стоит отметить, что диагностика технического состояния подшипников по косвенным признакам имеет ряд преимуществ, а именно отсутствие необходимости разборки подшипникового узла с целью проведения фактических измерений.

В данной статье предлагается система вибродиагностики для обнаружения дефектов подшипниковых узлов. Предлагаемая система состоит из датчиков вибрации и акустической диагностики, сигналы от которых проходят через усилители, фильтры, преобразовать и поступают в модуль обработки, обучения и принятия решений, который содержит базу данных о дефектах подшипниковых узлов, модуль прогнозирования изменения технического состояния подшипниковых узлов, а также модуль отображения информации. Кроме того, в предлагаемой системе вибродиагностики предложено использовать калибровочные блоки для повышения эффективности системы.

Предлагаемая система вибродиагностики была реализована в виде экспериментальной установки (рис. 4).

Установка относится к инструментальному обеспечению способа диагностики технического состояния подшипников по косвенным признакам. Предложенная конструкция установки вибродиагностики может быть использована для определения технического состояния подшипниковых узлов коробок переключения передач, что позволит определять долговечность подшипниковых узлов коробок переключения передач.

На предлагаемой экспериментальной установке проводились ускоренные испытания коробок переключения передач легковых автомобилей с поперечным расположением двигателя для определения долговечности и диагностики технического состояния подшипниковых узлов.

Конструкция экспериментальной установки представлена на рисунке 5.



Рисунок 4 – Общий вид экспериментальной установки

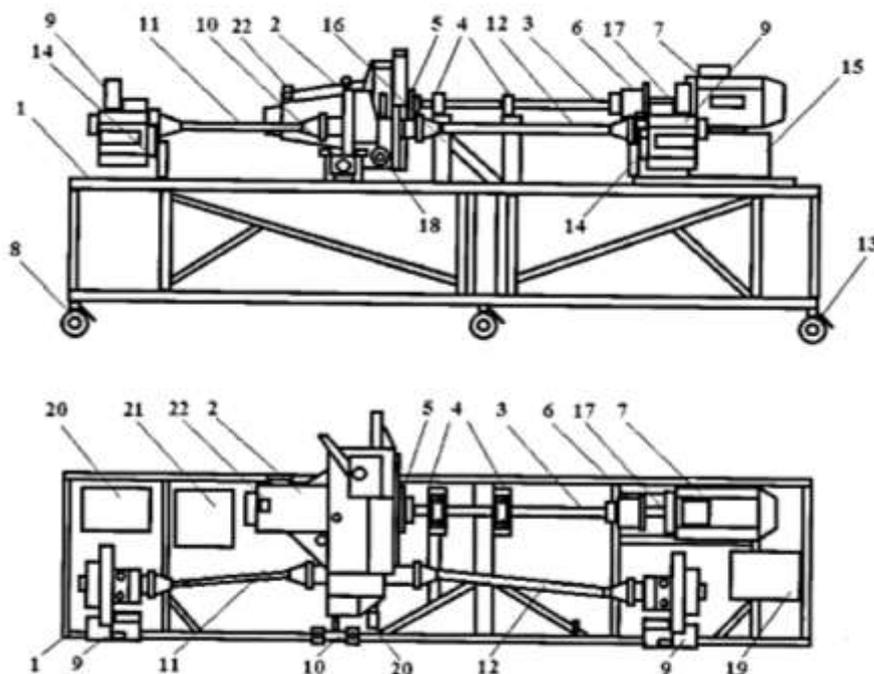


Рисунок 5 – Конструкция экспериментальной установки: 1 – монтажная рама; 2 – коробка передач; 3 – приводной вал; 5 – муфта; 4 – опора; 6 – гибкая муфта; 7 – электродвигатель; 8 – колеса; 9 – механизм загрузки коробки передач; 10 – гибкая опора; 11 – приводной вал; 12 – приводной вал; 13 – тормозные механизмы; 14 – опора; 15 – кронштейн; 16 – кронштейн; 17 – вал; 18 – механизм переключения передач; 19 – блок управления электродвигателем; 20 – блок управления гидравлическим приводом; 21 – блок преобразования сигнала; 22 – датчик вибрации

Вывод

Экспериментальную установку предложенной конструкции можно применять при ускоренных испытаниях коробок переключения передач легковых автомобилей с поперечным расположением двигателя. Установка позволяет проводить диагностику технического состояния коробок передач, моделируя эксплуатационные нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ ИСО 5347-0-95. Вибрация. Методы калибровки датчиков вибрации и удара [Электронный ресурс] / Портал общероссийского классификатора стандартов. URL: http://standartgost.ru/oks/246/1/267-vibratsii_izmereniya_udaraJ_vibratsii.
2. ГОСТ Р 52545.1-2006. Подшипники качения. Методы измерения вибрации. Основные положения [Электронный ресурс] / Портал Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. URL: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=128622>.
3. Неразрушающий контроль: Справочник / Под общ. Ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение. 2005. 829 с.
4. Тебекин М.Д., Родичев А.Ю., Токмакова М.А., Родичева И.В. Анализ способов безразборной диагностики механических коробок передач легковых автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. 2022. №1(76). С. 3-10.
5. Тебекин М.Д., Катунин А.А., Новиков А.Н. Технология диагностирования шаровых шарниров легковых автомобилей с помощью вибрационного способа // Информационные технологии и инновации на транспорте: сб. мат. второй Международной научно-практической конф. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева. 2016.
6. Система виброакустической диагностики подшипниковых узлов: пат. 2783172 Рос. Федерация, № 2021138180 / Родичев А.Ю., Новиков А.Н., Горин А.В., Тебекин М.Д.; заявл. 21.12.21; опубл. 09.11.22, Бюл. № 31. 8 с.
7. Экспериментальная установка для диагностирования и испытания механических коробок передач легковых автомобилей: пат. 2783190 Российская Федерация, № 2021131397 / Новиков А.Н., Тебекин М.Д., Родичев А. Ю., Горин А.В.; заявл. 26.10.2022; опубл. 09.11.2022, Бюл. № 31. 9 с.
8. Способ вибрационной диагностики роторных систем: пат. 2753151 Российская Федерация, № 2020131421 / Поляков Р. Н., Корнаев А. В., Казаков Ю. Н., Родичев А. Ю.; заявл. 23.09.2020; опубл. 12.08.2021, Бюл. № 23. 8 с.

9. Дороничев А.В., Константинов К.В. Методы диагностики технического состояния подшипников качения // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке: Труды Пятой международной научной конференции творческой молодежи. Хабаровск: ДВГУПС. 2007. Т. 4. С. 248-251.

10. Петрухин В.В., Петрухин С.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации // Гриф УМО ВУЗов РФ. М.: Инфра-Инженерия. 2010. 176 с.

11. Федотов А.И. Диагностика автомобиля: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Иркутск: Иркутский гос. технический ун-т., 2012. 476 с.

12. G. D'Elia, E. Mucchi, M. Cocconcelli. On the identification of the angular position of gears for the diagnostics of planetary gearboxes // Mechanical systems and signal processing. V. 83. 2017. P. 305-320.

13. S. Schmidt, P.S. Heyns, J.P. de Villiers. A novelty detection diagnostic methodology for gearboxes operating under fluctuating operating conditions using probabilistic techniques // Mechanical systems and signal processing. V.100. 2018. P. 152-166.

14. Weiguo Huang. Multi-source fidelity sparse representation via convex optimization for gearbox compound fault diagnosis // Journal of Sound and vibration. V. 496. 2021. P. 115879.

15. S. Foulard, M. Ichchou, S. Rinderknecht, J. Perret-Liaudet. Online and real-time monitoring system for remaining service life estimation of automotive transmissions – application to a manual transmission // Mechatronics. V. 30. 2015. P. 140-157.

16. Chuan Li. Gearbox fault diagnosis based on deep random forest fusion of acoustic and vibratory signals // Mechanical systems and signal processing. V. 76-77. 2016. P. 283-293.

17. Liu Hong. A time domain approach to diagnose gearbox fault based on measured vibration signals // Journal of Sound and vibration. V. 333. 2014. P. 2164-2180.

18. Gaigai Cai. Sparsity-enabled signal decomposition using tunable Q-factor wavelet transform for fault feature extraction of gearbox // Mechanical systems and signal processing. V. 41. 2013. P. 34-53.

19. Binqiang Chen. Fault feature extraction of gearbox by using overcomplete rational dilation discrete wavelet transform on signals measured from vibration sensors // Mechanical systems and signal processing. V. 33. 2012. P. 275-298.

20. Yaguo Lei, Dong Han, Jing Lin, Zhengjia He. Planetary gearbox fault diagnosis using an adaptive stochastic resonance method // Mechanical systems and signal processing. V. 38. 2013. P. 113-124.

Ломакин Денис Олегович

Орловский государственный университет
имени И.С.Тургенева

Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: forstudentwork@mail.ru

Поздняков Андрей Константинович

Орловский государственный университет
имени И.С.Тургенева

Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
студент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: srmostu@mail.ru

Родичева Ирина Владимировна

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева

Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Аспирант
E-mail: irina.rodicheva.rodicheva@yandex.ru

D.O. LOMAKIN, A.K. POZDNYKOV, I.V. RODICHEVA

RESEARCH AND EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF BEARING ASSEMBLIES

Abstract. The article gives the concept of a bearing assembly and the reasons determining its failure, as well as a method for diagnosing the technical condition of bearing assemblies using an experimental installation.

Keywords: technical diagnostics, bearing assembly

BIBLIOGRAPHY

1. GOST ISO 5347-0-95. Vibratsiya. Metody kalibrovki datchikov vibratsii i udara [Elektronnyy resurs] / Portal obshcherossiyskogo klassifikatora standartov. URL: http://standartgost.ru/oks/246/1/267-vibratsii_izmereniya_udaraJ_vibratsii.

2. GOST R 52545.1-2006. Podshipniki kacheniya. Metody izmereniya vibratsii. Osnovnye polozheniya [Elektronnyy resurs] / Portal Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. URL:

<http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=128622>.

3. Nerazrushayushchiy kontrol': Spravochnik / Pod obshch. Red. V.V. Klyueva. M.: Mashinostroenie. 2005. 829 s.
4. Tebekin M.D., Rodichev A.YU., Tokmakova M.A., Rodicheva I.V. Analiz sposobov bezrazbornoy diagnostiki mekhanicheskikh korobok peredach legkovykh avtomobiley // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. 2022. №1(76). S. 3-10.
5. Tebekin M.D., Katunin A.A., Novikov A.N. Tekhnologiya diagnostirovaniya sharovykh sharnirov legkovykh avtomobiley s pomoshch'yu vibratsionnogo sposoba // *Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na trans-porte: sb. mat. vtoroy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf. Orel: OGU im. I.S. Turgeneva*. 2016.
6. Sistema vibroakusticheskoy diagnostiki podshipnikovykh uzlov: pat. 2783172 Ros. Federatsiya, № 2021138180 / Rodichev A.YU., Novikov A.N., Gorin A.V., Tebekin M.D.; zayavl. 21.12.21; opubl. 09.11.22, Byul. № 31. 8 s.
7. Eksperimental'naya ustanovka dlya diagnostirovaniya i ispytaniya mekhanicheskikh korobok peredach legkovykh avtomobiley: pat. 2783190 Rossiyskaya Federatsiya, № 2021131397 / Novikov A.N., Tebekin M.D., Rodichev A. YU., Gorin A.V.; zayavl. 26.10.2022; opubl. 09.11.2022, Byul. № 31. 9 s.
8. Sposob vibratsionnoy diagnostiki rotornykh sistem: pat. 2753151 Rossiyskaya Federatsiya, № 2020131421 / Polyakov R. N., Kornaev A. V., Kazakov YU. N., Rodichev A. YU.; zayavl. 23.09.2020; opubl. 12.08.2021, Byul. № 23. 8 s.
9. Doronichev A.B., Konstantinov K.V. Metody diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya podshipnikov kacheniya // *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke: Trudy Pyatoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii tvorcheskoy molodezhi*. Habarovsk: DVGUPS. 2007. T. 4. S. 248-251.
10. Petrukhin V.V., Petrukhin S.V. Osnovy vibrodiagnostiki i sredstva izmereniya vibratsii // *Grif UMO VUZov RF. M.: Infra-Inzheneriya*. 2010. 176 s.
11. Fedotov A.I. Diagnostika avtomobilya: uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki bakalavrov i magistrrov "Ekspluatatsiya transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov". Irkutsk: Irkutskiy gos. tekhnicheskii un-t., 2012. 476 s.
12. G. D'Elia, E. Mucchi, M. Cocconcelli. On the identification of the angular position of gears for the diagnostics of planetary gearboxes // *Mechanical systems and signal processing*. V. 83. 2017. P. 305-320.
13. S. Schmidt, P.S. Heyns, J.P. de Villiers. A novelty detection diagnostic methodology for gearboxes operating under fluctuating operating conditions using probabilistic techniques // *Mechanical systems and signal processing*. V.100. 2018. P. 152-166.
14. Weiguo Huang. Multi-source fidelity sparse representation via convex optimization for gearbox compound fault diagnosis // *Journal of Sound and vibration*. V. 496. 2021. R. 115879.
15. S. Foulard, M. Ichchou, S. Rinderknecht, J. Perret-Liaudet. Online and real-time monitoring system for remaining service life estimation of automotive transmissions - application to a manual transmission // *Mechatronics*. V. 30. 2015. P. 140-157.
16. Chuan Li. Gearbox fault diagnosis based on deep random forest fusion of acoustic and vibratory signals // *Mechanical systems and signal processing*. V. 76-77. 2016. P. 283-293.
17. Liu Hong. A time domain approach to diagnose gearbox fault based on measured vibration signals // *Journal of Sound and vibration*. V. 333. 2014. P. 2164-2180.
18. Gaigai Cai. Sparsity-enabled signal decomposition using tunable Q-factor wavelet transform for fault feature extraction of gearbox // *Mechanical systems and signal processing*. V. 41. 2013. P. 34-53.
19. Binqiang Chen. Fault feature extraction of gearbox by using overcomplete rational dilation discrete wavelet transform on signals measured from vibration sensors // *Mechanical systems and signal processing*. V. 33. 2012. P. 275-298.
20. Yaguo Lei, Dong Han, Jing Lin, Zhengjia He. Planetary gearbox fault diagnosis using an adaptive stochastic resonance method // *Mechanical systems and signal processing*. V. 38. 2013. P. 113-124.

Lomakin Denis Olegovich

Oryol State University
Address: 302026, Russia, Orel, st. Moskovskaya, 77
Candidate of technical sciences
Email: forstudentwork@mail.ru

Pozdnyakov Andrey Konstantinovich

Oryol State University
Address: 302026, Russia, Orel, st. Moskovskaya, 77
Student
E-mail: srmostu@mail.ru

Rodicheva Irina Vladimirovna

Oryol State University
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe highway, 29
Graduate student
Email: irina.rodicheva.rodicheva@yandex.ru

Научная статья
УДК 629.113.004
doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-68-77

А.Г. ГУСЕВ, В.А. БУГРИМОВ, В.И. САРБАЕВ, А.В. КОНДРАТЬЕВ

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ДЛЯ ЗАДНЕГО МОСТА АВТОБУСА

***Аннотация.** Проанализирована эффективность эксплуатации коммерческого транспорта. Представлены статистические результаты отказов деталей заднего моста автобуса и построены графики вероятности безотказной работы узлов. Отмечено, что в модели надежности заднего моста будет применяться нечеткая формализация. Предложена методика, позволяющая увеличить коэффициент технической готовности автобуса. Приведены результаты расчетов коэффициента технической готовности, из которых видно какой вклад дает каждая деталь в его изменение.*

***Ключевые слова:** задний мост автобуса, надежность, безотказность, нечеткие числа, предупредительные замены, коэффициент технической готовности*

Введение

Эффективность эксплуатации коммерческого транспорта, к которому, безусловно, относятся автобусы зависит от величины простоев, которые оцениваются с помощью коэффициента технической готовности. Простой подвижного состава предприятия влекут за собой как упущение возможной прибыли, так и прямые потери в виде постоянных затрат (налоги, накладные расходы и др.) Минимизации простоев способствует исправное состояние узлов и агрегатов автомобиля, однако большинство из них, для минимизации расходов на техническое обслуживание и наиболее полного использования ресурса деталей, поддерживаются в работоспособном состоянии методом текущего ремонта по потребности.

Однако для получения преимуществ полного использования ресурса деталей и сокращения простоев подвижного состава из-за внезапных отказов возможно путем использования метода предупредительного ремонта. Основные сложности при этом – определение основных деталей, лимитирующих надежность узла или агрегата и, что самое важное, их ресурса [1]. При использовании метода предупредительного ремонта минимизация простоев будет достигнута при эксплуатации подвижного состава с необходимым уровнем безотказности [2].

Данный метод уже успешно применяется для ремня газораспределительного механизма.

Материал и методы

Решением этой задачи для остальных агрегатов, в частности заднего моста служат исследования, проведенные соавторами в предыдущих исследованиях, касающихся организации технического обслуживания и ремонта на малых автобусных предприятиях [3]. В следующей работе, описываются результаты анализа отказов заднего моста автобусов Niger, рассмотрена структура работ по устранению отказов в условиях автобусного парка и разработана классификация факторов, влияющих на безотказность работы автобуса, доказана возможность корректирования периодичности технического обслуживания с учетом допустимого уровня вероятности безотказной работы заднего моста автобуса [4].

Далее исследователями в процессе разработки методики обеспечения безотказной работы заднего моста (рис. 1) были приведены отказы, полученные в результате сбора их статистики (рис. 2): сапуна – 32,9 %; сальники задней ступицы/полуоси - 32,9 %; ведущая и ведомая шестерня - 16,4 %; сателлит дифференциала - 8,2 %; шестерня полуоси заднего моста - 4,2 %; редуктор в сборе - 4,2 %. На остальные детали и узлы приходится 1,4 % отказов [5].

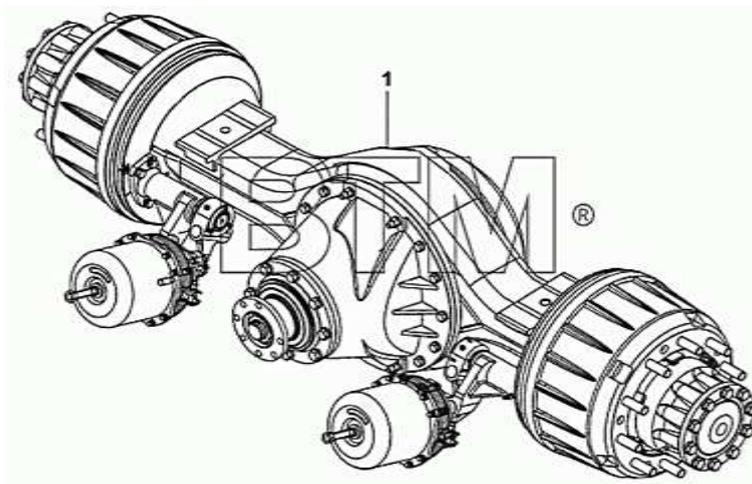


Рисунок 1 - Задний мост автобуса

Таб_Отк_2 10v7с

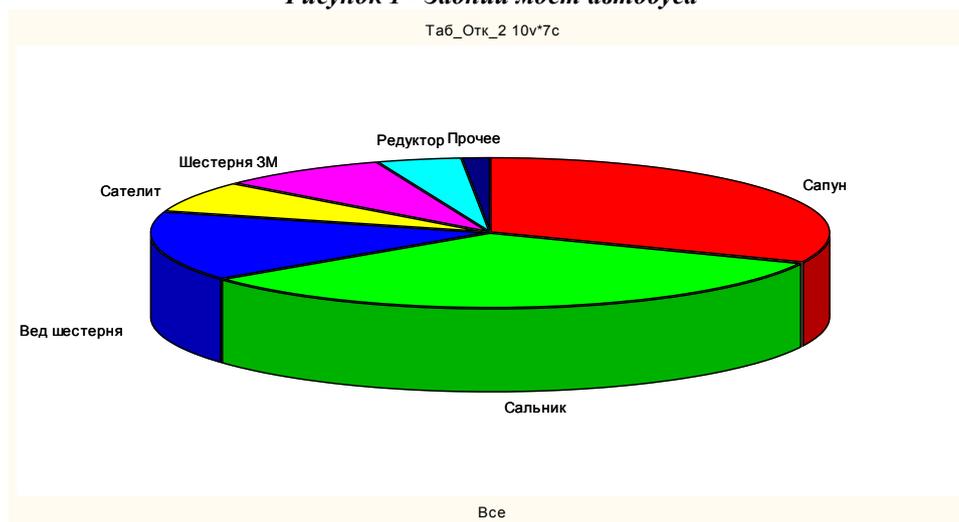


Рисунок 2 - Относительное распределение отказов по узлам заднего моста

Далее по собранной в рамках проведенных исследований статистической информации сформирована таблица для параметров модели надежности Вейбулла (табл. 1).

Таблица 1- Параметры надежности деталей и узлов заднего моста

	Процент	Среднее	Ст.откл.	Коэфф Вар	a	b
Сапун	35,63	85,02	52,29	61,50	107,79	1,75
Сальник	21,93	161,37	95,87	59,41	175,62	1,85
Пара	11,40	346,35	129,37	37,35	338,63	2,04
Сателлит	15,84	228,63	116,91	51,13	243,51	1,93
Шестерня	9,50	298,91	121,71	40,72	406,50	2,16
Редуктор	5,70	694,53	203,60	29,31	675,32	1,84

В общем случае, исходя из конструктивных особенностей, для заднего моста (ЗМ) имеет место последовательная схема надежности. При этом, справедливым остается соотношение для вероятности безотказной работы (ВБР) всего моста, как произведение ВБР последовательно соединенных деталей [6].

Для основных деталей ЗМ в процессе статистических исследований были определены параметры a и b модели надежности Вейбулла, для которой вероятность безотказной работы определяется по следующей формуле

$$P(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{a_i} \right)^{b_i} \right], \quad (1)$$

где a_i, b_i - параметры модели надежности Вейбулла i -го элемента последовательной схемы надежности [7].

Известно, что при значении $b = 1$ распределение Вейбулла становится экспоненциальным, а при $b = 2$ распределением Релея. Нетрудно видеть из таблицы статистики отказов (табл. 1), параметр b , которой определяет форму модели Вейбулла, принимает значения близкие к 2. В результате исследований выявлено влияние параметра b на форму кривой Вейбулла (рис. 3) и определено, что в пределах допуска $2 \pm 0,25$ возможна замена на модель Релея.

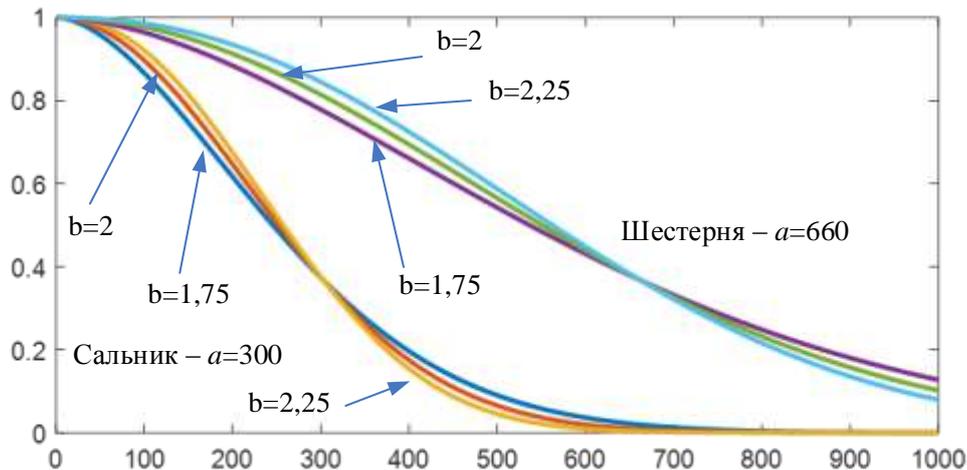


Рисунок 3 - Вероятность безотказной работы узлов

В данном случае вероятность безотказной работы будет определяться выражением

$$P(t) = \exp \left(- \frac{t^2}{2\sigma^2} \right), \text{ интенсивность } \lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{t}{\sigma^2}, \text{ а среднее время наработки на отказ}$$

$T_{cp} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}$. Наблюдаемая интенсивность отказов для модели Релея – возрастающая прямая линия. Эта форма функции интенсивности, как правило, определяет отказы механических систем, где интенсивность отказов постоянно возрастает в силу трения. Следует отметить, что модель надежности (МН) Релея также применяется при моделировании процессов при износе деталей.

При последовательной схеме для вероятности безотказной работы при использовании МН Релея окажется справедливым соотношение

$$P_s(t) = \prod_{i=1}^N \exp \left(- \frac{t^2}{2\sigma_i^2} \right) = \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2} \right) \cdot t^2 \right], \quad (2)$$

а принимая новое обозначение параметра надежности системы как

$$\frac{1}{\sigma_s^2} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}, \quad (3)$$

придем к соотношению

$$P_s(t) = \prod_{i=1}^N \exp \left(- \frac{t^2}{2\sigma_i^2} \right) = \exp \left(- \frac{t^2}{2\sigma_s^2} \right). \quad (4)$$

Отсюда для модели Релея в последовательной схеме надежности она одновременно имеет место и для всей системы, т.е. если модель Релея применяется для элементов системы,

то она применима и для всей системы с параметром σ_s .

Принимая во внимание ограниченную статистику отказов, равно как и эксплуатацию задних мостов от различных производителей, производства деталей и узлов, составляющих задний мост, в различные периоды времени, а также другие факторы, в исследованиях полагается, что более адекватной моделью параметризации модели надежности будет нечеткая формализация [8], т.е. для каждого узла параметр σ_i будет задаваться нечетким числом с функцией принадлежности $\mu_i(\sigma_i)$ [9]. Полагая, что параметры модели являются нечеткими числами, общий параметр схемы надежности соответственно будет нечетким числом $\mu_s(\sigma_s)$ [10].

В результате анализа исследований определены средние ресурсы узлов $t_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i$,

где t_i является пробегом автобуса [11].

Далее в результате исследований на основе полученных показателей распределения Вейбулла сформирована база данных ведущих функций для основных узлов и деталей заднего моста (рис. 4).

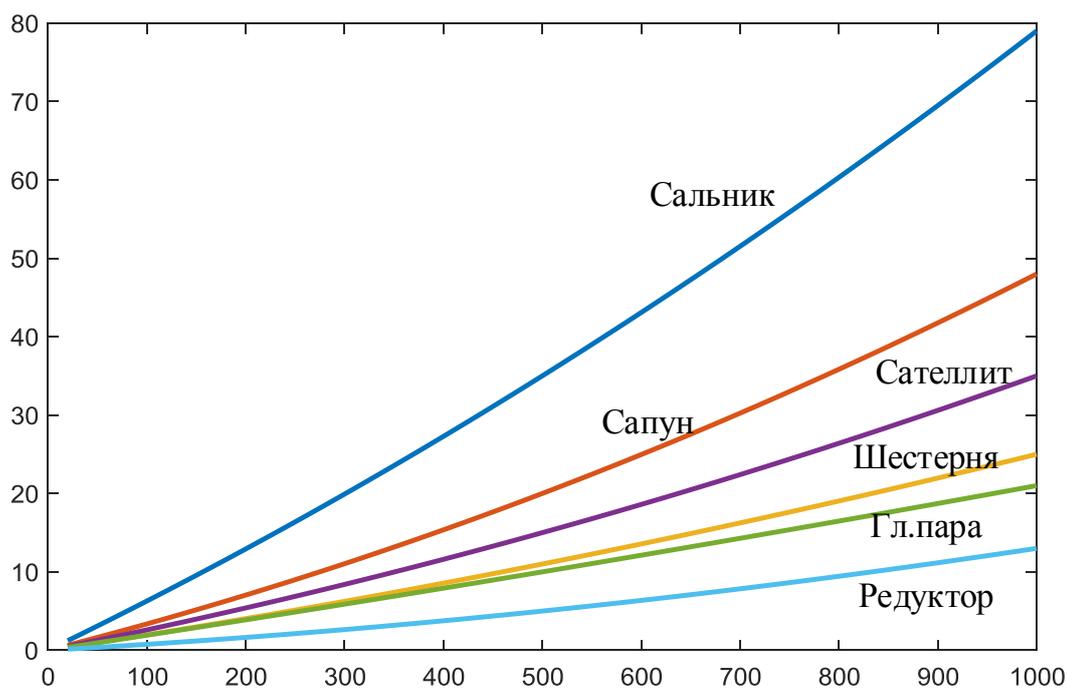


Рисунок 4 - Ведущие функции потока отказов узлов ЗМ

Теория / Расчет

Рационально выбранная периодичность обслуживания и предупредительных замен деталей и узлов, существенным образом может влиять на уменьшение числа и времени текущего ремонта [12].

На основании предложенной методики предупредительных замен на основе стоимостного критерия исследователями проведен расчет циклов ТО для значений, представленными инженерным составом предприятия по временным и финансовым ресурсам для выполнения всех необходимых работ как по реализации предупредительных замен, так и работ в случае аварийных ситуаций (табл. 2).

Таблица 2- Таблица показателей

	Ц _д	Р _{дн}	Чел	Т _{ож}	Z _{то}	Z _{ав}
Сапун	1	1	1	1	8	50

Сальник	10	1	2	1	24	50
Гл. пара	115	2	3	7	157	140
Сателлит	80	2	3	21	122	350
Шестерни	50	1	2	14	64	245
Редуктор	900	2	2	70	928	1085

В таблице сформирован следующий список показателей:

C_d - стоимость узла (тыс. руб.);

$P_{дн}$ - время ремонтных работ (дни);

Чел - состав рабочей бригады (чел.);

$T_{ож}$ - время доставки узла (дни);

$Z_{то}$ - затраты на плановый работы (тыс.руб.);

$Z_{ав}$ - затраты на аварийные работы (тыс.руб.);

Данные рассчитывались исходя из средней зарплаты 7 тыс.руб/день, простоя автобуса исходя из 15 тыс.руб/день и транспортировки автобуса в случае отказа на линии – 35-50 т.р.

На основе показателей данной таблицы получены зависимости критерия стоимости от периодичности предупредительных замен для всех основных узлов заднего моста (рис. 5-7), в результате чего определены рациональные периодичности предупредительных замен.

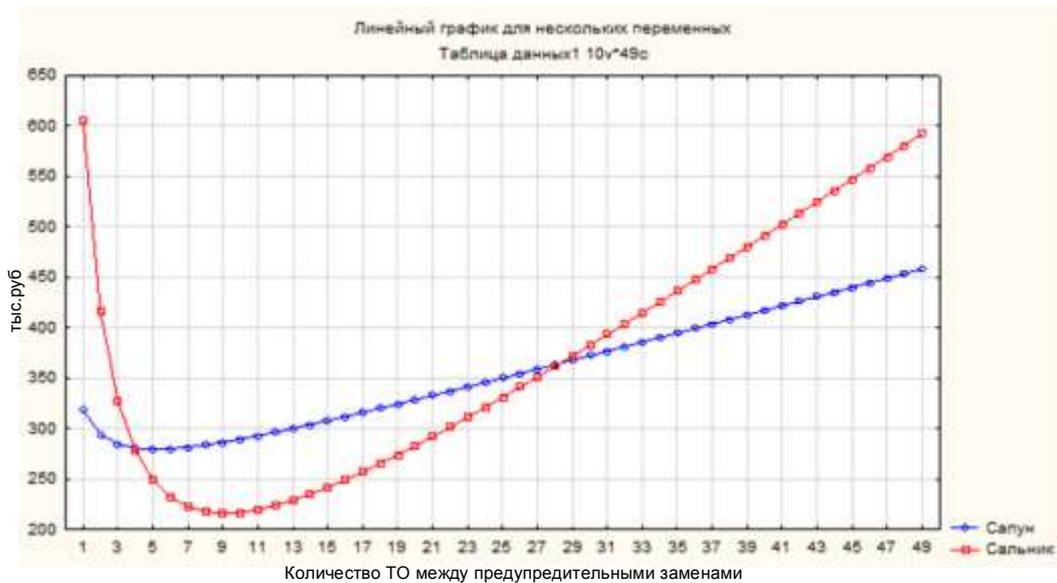


Рисунок 5 - Стоимостной критерий для сапуна и сальника

В результате анализа таблицы 3 сформирована таблица сравнительного анализа оценки расходов (табл. 3). Для каждого агрегата в столбце «Минимум», тыс.км. указана рекомендуемая величина пробега между заменами, доставляющая минимум по общим расходам в течении жизненного цикла (7 лет) для одного автобуса. В столбце «Минимум», тыс. руб. указываются эти минимальные расходы. В столбце «Были» тыс.км. указывается пробег между заменами, который был принят на предприятии, а в столбце «Были» тыс.руб. указывается расходы, которые сопровождаются при данном пробеге. В результате формируется столбец «Экономия», представляющий разность между расходами.

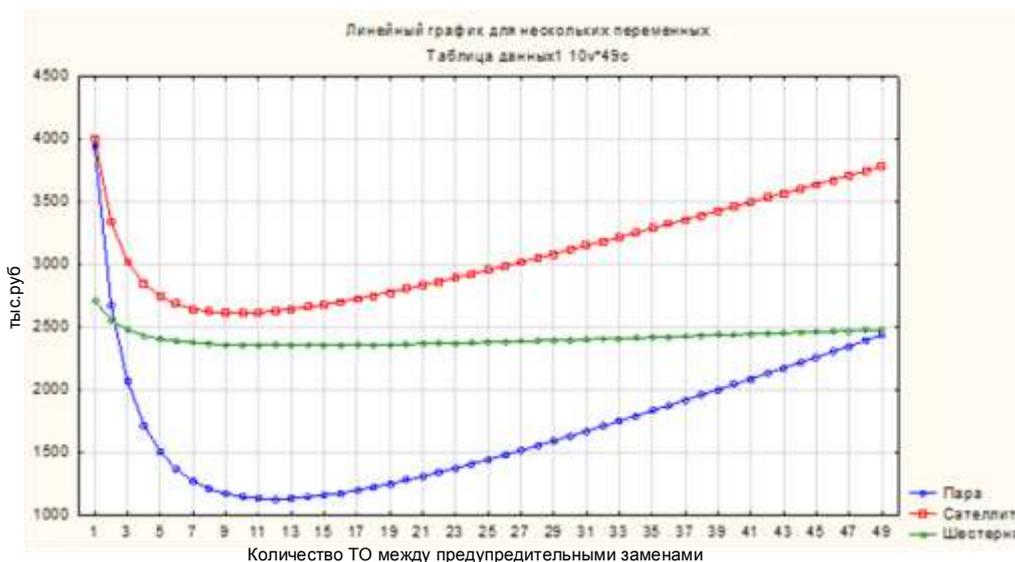


Рисунок 6 - Стоимостной критерий для пары, сателлита и шестерни

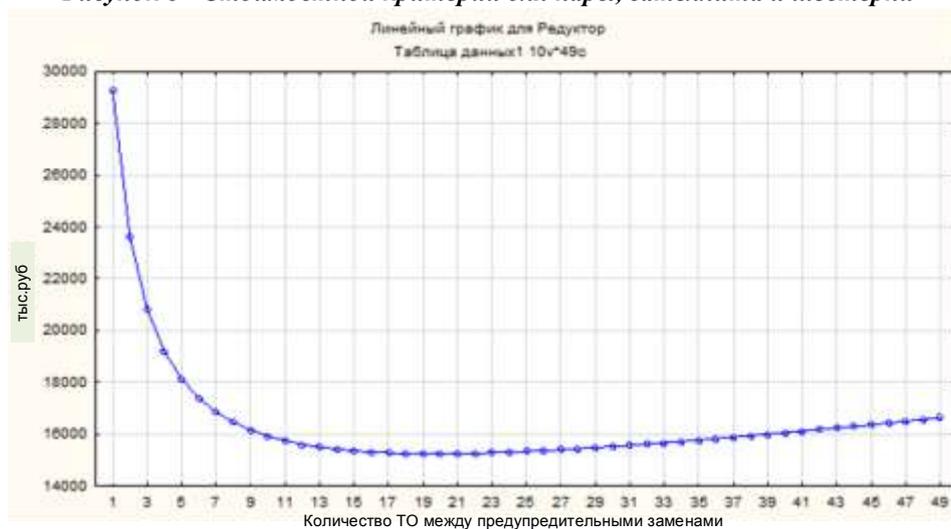


Рисунок 7 - Стоимостной критерий для редуктора

Таблица 3 - Сравнительный анализ периодичности замен

Детали	Минимум		Были		Экономия
	тыс. км	тыс. руб	тыс. км	тыс. руб	
Сапун	100	279,3	300	307,8	28,5
Сальник	180	215,9	300	241,5	25,6
Главная пара	240	1130,2	300	1158,9	28,7
Сателлит	200	2614,2	300	2682,3	68,1
Шестерни	260	2354,1	500	2381,2	27,1
Редуктор	400	15246,1	500	15333,7	87,6

Таким образом, последняя таблица показывает, что суммарное снижение затрат от выбора рекомендуемой периодичности предупредительных замен узлов заднего моста составляет 267,6 тыс.руб. за весь жизненный цикл одного автобуса, или 37,9 тыс. руб. в год на один автобус.

Таким образом, в работе выполнены исследования по выбору рациональной периодичности предупредительных замен (ПЗ) деталей и узлов заднего моста автобусов большого класса в условиях стоимостного критерия и получены рекомендации по периодичностям предупредительных замен (рис. 8), в том числе, замена: сапуна – 100 тыс. км.; сальников – 180 тыс. км.; шестерни – 260 тыс. км.; редуктор в сборе – 400 тыс. км.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50						
Сапун																																																								
Сальник																																																								
Пара																																																								
Сателлит																																																								
Шестерня																																																								
Редуктор																																																								

Рисунок 8 - График проведения предупредительных замен

Найденные значения периодичностей позволяют более рационально решать задачи управления запасами основных узлов и агрегатов ЗМ автобусов большого класса.

Оценка эффективности внедрения предлагаемых режимов ПЗ деталей и узлов ЗМ может быть произведена на основе оценки повышения уровня работоспособности ЗМ [13]. Основным показателем уровня работоспособности является коэффициент технической готовности (КТГ), который определяется как отношение времени нахождения автомобиля в исправном состоянии к общему времени нахождения автомобиля в эксплуатации [14]:

$$КТГ = АДэ / (АДэ + АДр), \tag{5}$$

где АДэ – число автомобиле-дней в исправном состоянии;

АДр - число автомобиле-дней в ТО и ремонте.

Отметим, что для пассажирских перевозок для одного автобуса $АДэ + АДр = 365$ [15].

Общая продолжительность простоев в ремонте по устранению отказов i -той детали за период наблюдений до внедрения системы предупредительных замен (СПЗ) $АДр^i$ определяется как произведение количества отказов N^i на суммарную величину простоев в ремонте $P_{дн}^i$ и в ожидании ремонта $T_{ож}^i$ [16]:

$$АДр^i = N^i * (P_{дн}^i + T_{ож}^i). \tag{6}$$

Общая продолжительность простоев в ремонте после внедрения системы предупредительных замен (СПЗ) $АД^i_{пзр}$ определяется как сумма простоев при выполнении ПЗ $АД^i_{пз}$ и простоев на устранение внезапных отказов $АД_{рпз}^i$:

$$АД^i_{пзр} = АД^i_{пз} + АД_{рпз}^i \tag{7}$$

Продолжительность простоев при проведении ПЗ определяется как произведение их количества за период наблюдений на величину нормативного простоя при проведении одной ПЗ:

$$АД^i_{пз} = (L_{общ} / L^i_{пз}) * P_{дн}^i \tag{8}$$

Продолжительность простоев при устранении внезапных отказов $АД_{рпз}^i$ определяется как произведение количества этих отказов на величину нормативного простоя при устранении одного отказа. Количество внезапных отказов при функционировании СПЗ можно определить исходя из их общего количества и вероятности отказа в рассматриваемом периоде наблюдений [17]. Мы устанавливали периодичность ПЗ с учетом обеспечения вероятности безотказной работы ВБР = 0,9, т.е. вероятность отказа составляет $P_{отк} = 0,1$. Таким образом,

$$АД_{рпз}^i = 0,1 * N^i * P_{дн}^i \tag{9}$$

Подставляя полученные выражения в формулу (3П), получим:

$$АД^i_{пзр} = (L_{общ} / L^i_{пз}) * P_{дн}^i + 0,1 * N^i * P_{дн}^i \tag{10}$$

Внедрение СПЗ естественным образом приводит к сокращению времени нахождения автобусов в ремонте и к соответствующему повышению основного показателя уровня работоспособности – коэффициента технической готовности [18]. Собственно, величина увеличения $КТГ_{изм}$ вследствие внедрения СПЗ и является показателем-измерителем увеличения уровня работоспособности агрегата, для которого эта система разрабатывалась, в нашем случае, для заднего моста [19]. Сокращение продолжительности простоев в ТО и ремонте приводит к соответствующему увеличению продолжительности нахождения автобусов в технически исправном состоянии [20], т. е.

$$КТГ_{изм}^i = (N^i * (P_{дн}^i + T_{ож}^i) - (АД^i_{пз} + АД_{рпз}^i)) / (АДэ + АДр) = (N^i * (P_{дн}^i + T_{ож}^i) - ((L_{общ} / L^i_{пз}) * P_{дн}^i + 0,1 * N^i * P_{дн}^i)) / 365 * 3 * 14. \tag{11}$$

Исходные данные и результаты расчетов $КТГ_{изм}^i$ сведены в таблицу 4.

Таблица 4 - Расчет изменения КТГ

Деталь, узел	N^i	$P_{дн}$	$T_{ож}$	$AD_{р}^i$	$I_{пз}^i$	$AD_{рпз}^i$	$AD_{пз}^i$	$AD_{пзр}^i$	$AD_{изм}$	$КТГ_{изм}^i$
Сапун	79	1	1	158	80	7,9	75,6	83,5	74,5	0,005
Сальник	48	1	1	96	100	4,8	42,0	46,8	49,2	0,003
Гл. пара	25	2	7	225	240	5	63	68	157	0,010
Сателлит	35	2	21	805	200	7	75,6	82,6	722,4	0,047
Шестерни	21	1	14	315	300	2,1	29,1	31,2	283,8	0,019
Редуктор	13	2	70	936	360	2,6	37,8	40,4	895,6	0,058
Всего	221			2535		29,4	323,1	352,5	2182,5	0.142

В таблице приведены показатели:

N^i – общее количество отказов i -той детали;

$P_{дн}$ - время устранения отказа (дни);

$T_{ож}$ - время ожидания доставки детали/узла (дни);

Результаты и обсуждение

Таким образом, внедрение системы предупредительных замен для деталей и узлов ЗМ в автобусном предприятии «ИП Иваненко Галина Ивановна» в г.о. Чехов Московской области позволяет повысить уровень работоспособности автобусов на 14,2 %, при этом время нахождения автобусов на линии может быть увеличено на 727 авт-дней в год. Принимая, что 1 день работы автобуса на линии приносит доход 25 тыс. руб, получим увеличение годового дохода предприятия 18,175 млн. руб/год.

Выводы

В заключении можно отметить, что приведенная методика может быть расширена на большинство узлов и агрегатов автобуса, что позволит повысить эффективность эксплуатации коммерческого транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.В., М.Ю. Баженов Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации // Фундаментальные исследования. Пенза. 2015. №4. С. 16-21.
2. Барыкин А.Ю., Мухаметдинов М.М., Тахавиев Р.Х Влияние условий эксплуатации на безотказность и долговечность ведущих мостов грузовых автомобилей // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Ижевск. 2020. С. 16-22.
3. Сарбаев В.И., Гусев А.Г. Организация технического обслуживания и ремонта в малом автобусном предприятии // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств: Материалы XXI Международной научно-практической конференции. Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. 2019. С. 128-132.
4. Барыкин А.Ю., Тахавиев Р.Х. Оценка технического состояния ведущего моста в период эксплуатации // Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий: Сборник научных трудов по материалам XIV Международной научно-технической конференции, посвященной 95-летию юбилею доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ Авдолькина Фёдора Николаевича (1923-1996). Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. 2018. С. 28-33.
5. Сарбаев В.И., Гусев А.Г., Гришин А.С., Джованис С. Управление предупредительными заменами и запасами деталей и узлов в автобусном парке // Мир транспорта и технологических машин. Орел. 2023. №2(81). С. 18-25.
6. Тимашов Е.П. Экспертная оценка надежности отдельных агрегатов транспортных и технологических машин // Роль науки в удвоении валового регионального продукта: материалы XXV Международной науч.-произв. конф. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 2021. С. 178-179.
7. Гусев Д.А., Неговора А.В. Повышение надежности агрегатов трансмиссии // Состояние, проблемы и перспективы развития АПК: материалы Международной науч.-практ. конф. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2010. С. 37-39.
8. Ухоботов В.И. Избранные главы теории нечетких множеств: учебное пособие. Челябинск: Челяб. гос. ун-т. 2011. 245 с.
9. Косолапов А.А. Методика анализа надёжности нечётких систем с использованием теории размытых множеств // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013: мат. междунар.науч.-практ. конф. Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. С. 71-81.
10. Kumar A., Yadav S.P., Kumar S. Fuzzy System Reliability Using Different Types of Vague Sets. Int. // Journal of Applied Science and Engineering. 2008. №6. 1. P. 71-83.
11. Сарбаев В.И., Гусев А.Г. Расчет показателей надежности заднего моста автобуса в условиях нечеткой формализации параметров отказов // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-1(80). С. 19-27.
12. Шлапоберский А.А., Назаркин В.Г. Организация технического обслуживания и ремонта автомобилей на рабочих постах // Вестник гражданских инженеров. 2019. №2(73). С. 161-166.

13. Москвичев Д.А., Виноградов О.В. Влияние технологии технического обслуживания и ремонта на коэффициент технической готовности модульных грузовых автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. 2019. №3(66). С. 3-8.

14. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов [и др.]. 4-е изд., перераб. и дополн. М.: Наука, 2001. 535 с.

15. Колотов А.С., Кирюшин И.Н., Аникин Н.В., Юхин И.А. Расчет коэффициента технической готовности с учетом количества дней простоя автомобилей по организационным // Сборник научных работ студентов Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева: Материалы научно-практической конференции. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. 2011. С. 255-256.

16. Скоробогатый К.В. Повышение эффективности технической эксплуатации зарубежных автобусов большого класса в условиях Сибири // Автотранспортное предприятие. 2011. №9. С. 29-31.

17. Чечет В.А., Левшин А.Г., Скороходов А.Н. и др. Основные положения системной диагностики машин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2018. №6(88). С. 51-55.

18. Бахвалов С.В., Дунаев А.М. Анализ оптимальных алгоритмов технического диагностирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. №7(114).

19. Максимов В.А., Сарбаев В.И., Хазиев А.А. Техническая эксплуатация городских автобусов (особенности организации и управления): учебное пособие. М.: МГИУ, 2002. 112 с.

20. Основы теории надежности и диагностики: методич. пособие / Н.Ф. Булгаков, Е.Г. Махова, В.В. Коваленко [и др.]. Красноярск: Сиб. Федер. Ун-т, 2013. 86 с.

Гусев Андрей Георгиевич

Московский политехнический университет

Адрес: 107023, Россия, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38

Аспирант кафедры «Наземные транспортные средства»

E-mail: andreu200909@icloud.com

Бугримов Виталий Алексеевич

Московский политехнический университет

Адрес: 107023, Россия, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Наземные транспортные средства»

E-mail: bugrimov_2308@mail.ru

Сарбаев Владимир Иванович

Московский политехнический университет

Адрес: 107023, Россия, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38

Доктор технических наук, профессор кафедры «Наземные транспортные средства»

E-mail: visarbaev@gmail.com

Кондратьев Алексей Васильевич

Московский политехнический университет

Адрес: 107023, Россия, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Наземные транспортные средства»

E-mail: kondratjev.aleksey@yandex.ru

A.G. GUSEV, V.A. BUGRIMOV, V.I. SARBAEV, A.V. KONDRAT'EV

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF PREVENTIVE REPAIRS FOR THE REAR AXLE OF A BUS

Abstract. *The efficiency of operating commercial vehicles is analyzed. Statistical results of failures of parts of the rear axle of the bus are presented and graphs of the probability of failure-free operation of the units are constructed. It is noted that fuzzy formalization will be used in the rear axle reliability model. A technique has been proposed to increase the technical readiness coefficient of the bus. The results of calculations of the technical readiness coefficient are presented, from which it is clear what contribution each detail makes to its change.*

Keywords: *rear axle of a bus, reliability, fuzzy numbers, precautionary replacements, technical readiness coefficient*

BIBLIOGRAPHY

1. Bazhenov Yu.V., M.Yu. Bazhenov Prognozirovanie ostatochnogo resursa konstruktivnykh elementov avtomobiley v usloviyakh ekspluatatsii // Fundamental'nye issledovaniya. Penza. 2015. №4. S. 16-21.

2. Barykin A.Yu., Mukhametdinov M.M., Takhaviev R.H. Vliyanie usloviy ekspluatatsii na bezotkaznost` i dolgovechnost` vedushchikh mostov gruzovykh avtomobiley // Avtomobilstroenie: proektirovanie, konstruirovaniye, raschet i tekhnologii remonta i proizvodstva: Materialy IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Izhevsk.

2020. S. 16-22.

3. Sarbaev V.I., Gusev A.G. Organizatsiya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta v malom avtobusnom predpriyati // Aktual'nye problemy ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv: Materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Vladimir: Vladimirskiy gosudarstvennyy universitet imeni Aleksandra Grigor'evicha i Nikolaya Grigor'evicha Stoletovykh. 2019. S. 128-132.

4. Barykin A.Yu., Takhaviev R.H. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya vedushchego mosta v period ekspluatatsii // Sovershenstvovanie avtotransportnykh sistem i servisnykh tekhnologiy: Sbornik nauchnykh trudov po materialam XIV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchenoy 95-letnemu yubileyu doktora tekhnicheskikh nauk, professora, zasluzhennogo deyatelya nauki i tekhniki RF Avdon`kina Fiodora Nikolaevicha (1923-1996). Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni Gagarina Yu.A. 2018. S. 28-33.

5. Sarbaev V.I., Gusev A.G., Grishin A.S., Dzhovanis S. Upravlenie predupreditel'nyimi zamenami i zapasami detaley i uzlov v avtobusnom parke // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. Orel. 2023. №2(81). S. 18-25.

6. Timashov E.P. Ekspertnaya otsenka nadezhnosti otdel'nykh agregatov transportnykh i tekhnologicheskikh mashin // Rol' nauki v udvoenii valovogo regional'nogo produkta: materialy XXV Mezhdunarodnoy nauch.-proizv. konf. Mayskiy: FGBOU VO Belgorodskiy GAU. 2021. S. 178-179.

7. Gusev D.A., Negovora A.V. Povyshenie nadezhnosti agregatov transmissii // Sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya APK: materialy Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. Ufa: Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2010. S. 37-39.

8. Ukhobotov V.I. Izbrannye glavy teorii nechetkikh mnozhestv: uchebnoe posobie. Chelyabinsk: Chelyab. gos. un-t. 2011. 245 s.

9. Kosolapov A.A. Metodika analiza nadiozhnosti nechetkikh sistem s ispol'zovaniem teorii razmytykh mnozhestv // Sovremennye napravleniya teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy 2013: mat. mezhdunar.nauch.-prakt. konf. Odessa: KUPRIENKO, 2013. S. 71-81.

10. Kumar A., Yadav S.P., Kumar S. Fuzzy System Reliability Using Different Types of Vague Sets. Int. // Journal of Applied Science and Engineering. 2008. №6. 1. R. 71-83.

11. Sarbaev V.I., Gusev A.G. Raschet pokazateley nadezhnosti zadnego mosta avtobusa v usloviyakh nechetkoy formalizatsii parametrov otkazov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №1-1(80). S. 19-27.

12. SHlapoberskiy A.A., Nazarkin V.G. Organizatsiya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobiley na rabochikh postakh // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2019. №2(73). S. 161-166.

13. Moskvichev D.A., Vinogradov O.V. Vliyaniye tekhnologii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta na koeffitsient tekhnicheskoy gotovnosti modul'nykh gruzovykh avtomobiley // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2019. №3(66). S. 3-8.

14. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley: uchebnyy dlya vuzov / E.S. Kuznetsov, A.P. Boldin, V.M. Vla-sov [i dr.]. 4-e izd., pererab. i dopoln. M.: Nauka, 2001. 535 s.

15. Kolotov A.S., Kiryushin I.N., Anikin N.V., Yukhin I.A. Raschet koeffitsienta tekhnicheskoy gotovnosti s uchetom kolichestva dney prostoya avtomobiley po organizatsionnym // Sbornik nauchnykh rabot studentov Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ryazan': Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskii universitet imeni P.A. Kostycheva. 2011. S. 255-256.

16. Skorobogatyy K.V. Povyshenie effektivnosti tekhnicheskoy ekspluatatsii zarubezhnykh avtobusov bol'shogo klassa v usloviyakh Sibiri // Avtotransportnoe predpriyatie. 2011. №9. S. 29-31.

17. Chechet V.A., Levshin A.G., Skorokhodov A.N. i dr. Osnovnye polozheniya sistemnoy diagnostiki mashin // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina». 2018. №6(88). S. 51-55.

18. Bakhvalov S.V., Dunaev A.M. Analiz optimal'nykh algoritmov tekhnicheskogo diagnostirovaniya // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. №7(114).

19. Maksimov V.A., Sarbaev V.I., Haziev A.A. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya gorodskikh avtobusov (osobennosti organizatsii i upravleniya): uchebnoe posobie. M.: MGIU, 2002. 112 s.

20. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostiki: metodich. posobie / N.F. Bulgakov, E.G. Makhova, V.V. Kovalenko [i dr.]. Krasnoyarsk: Sib. Feder. Un-t, 2013. 86 s.

Gusev Andrei Georgievich

Moscow Polytechnic University
Address: 107023, Russia, Moscow, B. Semenovskaya str.
Postgraduate student
E-mail: andreu200909@icloud.com

Sarbaev Vladimir Ivanovich

Moscow Polytechnic University
Address: 107023, Russia, Moscow, B. Semenovskaya str.
Doctor of technical sciences
E-mail: visarbaev@gmail.com

Bugrimov Vitaliy Alekseevich

Moscow Polytechnic University
Address: 107023, Russia, Moscow, B. Semenovskaya str.
Candidate of technical sciences
E-mail: bugrimov_2308@mail.ru

Kondrat'ev Aleksey Vasil'evich

Moscow Polytechnic University
Address: 107023, Russia, Moscow, B. Semenovskaya str.
Candidate of technical sciences
E-mail: kondratjev.aleksey@yandex.ru

Научная статья
УДК 339.724.36
doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-78-82

А.К. АРЦЫБАШЕВ, А.Н. НОВИКОВ

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

***Аннотация.** В статье приведен сравнительный анализ восстановления шеек коленчатого вала дуговой и лазерной наплавкой. Рассмотрены особенности существующей технологии восстановления шеек коленвала лазерной наплавкой, ее достоинства и недостатки. Даны предложения по модификации существующей технологии восстановления коленчатых валов ДВС.*

***Ключевые слова:** наплавка, восстановление, лазер, покрытие, термоупрочнение*

Введение

Целью работы является исследование методов восстановления шеек коленчатого вала автомобильного двигателя с использованием лазерной наплавки. В статье проводится сравнительный анализ электродуговой и лазерной наплавки, с акцентом на их преимущества и недостатки. Накопленный опыт показывает, что традиционные методы, такие как электродуговая наплавка, широко применяются для восстановления изношенных поверхностей, однако они обладают существенными недостатками, связанными с высоким термическим воздействием и последующими деформациями. Лазерная наплавка, в свою очередь, предлагает минимальные деформационные изменения и высокую прочность сцепления покрытия с материалом детали. Исследование направлено на выявление возможностей улучшения существующих технологий и предложения по их модификации для повышения эффективности восстановления коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания.

Коленчатый вал – одна из наиболее ответственных и дорогостоящих деталей двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Отличительной особенностью коленчатых валов ДВС является высокая точность их изготовления, износостойкость рабочих поверхностей коренных и шатунных шеек, сопрягаемых с подшипниками скольжения.

При работе кривошипно-шатунной группы ДВС в коленчатом вале возникают скручивающие и изгибающие напряжения, что в целом определяет характер износа соответствующих деталей ДВС. При износе шеек коленчатого вала ДВС в процессе работы снижается давление моторного масла в масляной магистрали, появляются шумы и стуки в подшипниках скольжения, что в дальнейшем может привести к выходу ДВС из строя. Для предупреждения выхода ДВС из строя проводится диагностика ДВС, при необходимости – проверка технического состояния деталей ДВС в процессе разборки.

Материал и методы

Использовались коленчатые валы автомобильных двигателей, порошок сплава на основе железа (Fe-Cr-Ni), обеспечивающий высокую износостойкость.

Коленчатый вал очищали от загрязнений и оксидов с использованием пескоструйной обработки, как описано в работе Иванова и др. [11]. «Поверхность вала была обработана абразивом до получения шероховатости Ra 2.5 мкм» [11]. В этом исследовании применялся аналогичный метод, но с использованием корунда в качестве абразива для повышения эффективности очистки.

Лазерная наплавка выполнялась с использованием волоконного лазера мощностью 3 кВт. Параметры процесса включали: скорость сканирования лазера 600 мм/мин, расход порошка 8 г/мин, расход аргона 15 л/мин. Методика основана на работе Смирнова и др. [12].

В нашем исследовании скорость сканирования была увеличена до 700 мм/мин для улучшения адгезии наплавленного слоя и уменьшения теплового влияния на основную поверхность вала.

После наплавки коленчатый вал подвергался термической обработке для снятия остаточных напряжений. Термическую обработку проводили при температуре 600° С в течение 2 часов, что соответствует методике, описанной Петровым и др. [13]. Время выдержки было уменьшено до 1.5 часов для предотвращения роста зерна в наплавленном слое, что было выявлено в ходе предварительных экспериментов.

После термической обработки вал подвергали механической обработке для достижения требуемых размеров и формы. Обработка включала шлифовку и полировку, как описано в работе Лебедева и др. [14]. В этом исследовании дополнительно использовали финишную полировку с применением алмазной пасты для достижения минимальной шероховатости поверхности.

Теория

Причиной утраты работоспособности кривошипно-шатунной группы, в большинстве случаев, является увеличение зазора в соединении шейки коленчатого вала и вкладыша выше нормативного значения. При этом, вследствие переменных нагрузок и особенностей работы и смазки, шейки коленчатого вала изнашиваются неравномерно. По [9] доля дефектов коленчатого вала, связанных с износом шатунных шеек составляет 34,92 %, износом коренных шеек – 4,54 %.

По данным [1], при дефектовке коленчатого вала допустимый зазор для коренных и шатунных подшипников составляет 0,1...0,15 мм с небольшими отклонениями +/- 0,02 мм в зависимости от модели двигателя. В случае увеличения зазора больше допустимого значения используются ремонтные подшипники скольжения с большим внутренним диаметром и проводится перешлифовка шеек коленчатого вала на диаметр, имеющий значение меньше номинального на 0,25, 0,5, 0,75, 1,0 мм. В случае, если износ шеек превышает последний ремонтный размер, то прибегают к восстановлению шеек коленчатого вала.

На практике чаще всего применяются [1], следующие основные методы восстановления изношенных поверхностей шеек коленчатого вала:

- наплавка – электродуговая (под слоем флюса/в среде защитных газов/вибродуговая), плазменная;
- напыление – электродуговое, газопламенное, плазменное;
- электроконтактная приварка ленты/проволоки;
- нанесение гальванопокрытий – железнение/хромирование;

При этом [2] при восстановлении коленвалов ДВС электродуговая наплавка применялась в 58 % случаев, наплавка порошковыми проволоками и лентами – 14 %, газопламенное напыление – 4 %, плазменное напыление – 4 %. В последнее время [1] метод плазменного нанесения покрытий для восстановления изношенных поверхностей коленчатых валов ДВС начинает применяться достаточно часто.

Необходимо отметить, что дуговые методы нанесения покрытий обладают определенным недостатком – значительным термическим воздействием на деталь, что приводит к возникновению остаточных напряжений в теле детали, подвергшейся восстановлению путем наплавки.

При этом [1] вследствие термического влияния (глубина проплавления до 2 мм) могут возникнуть деформации коленчатого вала. Таким образом, низкая пластичность материала в зоне сплавления служит может явиться основной причиной снижения сопротивления усталости. Также отрицательное влияние на сопротивление усталости могут оказывать растягивающие напряжения, возникающие вследствие различных коэффициентов термического расширения материала коленчатого вала (основа) и наплавленного материала.

В связи с этим обращают на себя внимание способы нанесения восстановительного слоя, которые имеют ограниченную зону термического воздействия на обрабатываемую деталь (в данном случае коренные и шатунные шейки коленчатого вала).

Одним из методов восстановления шеек коленчатого вала, обладающий умеренным термическим воздействием на обрабатываемую деталь является лазерная наплавка. По данным [4] к основным преимуществам лазерной наплавки можно отнести:

- минимальные деформационные изменения детали, обусловленные уменьшением термического воздействия на обрабатываемую поверхность;
- возможность формирования тонкого наплавочного слоя;
- высокая прочность сцепления покрытия с материалом шейки вала;
- возможность наплавлять участки деталей в труднодоступных местах.

Сравнение основных характеристик электродуговой наплавки и наплавки твердотельным импульсным лазером с длиной волны $\lambda=1,06$ мкм [6], приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение основных характеристик электродуговой наплавки и наплавки твердотельным импульсным лазером

Параметр	Электрическая дуга	Луч лазера $\lambda=1,06$ мкм
Эффективный радиус теплового источника нагрева, мм	2 - 3	0,2 - 0,5
Размер зоны теплового воздействия (ЗТВ), мм	1	0,01 - 0,1
Наличие поперечных и продольных деформаций	Да	Нет
Наличие подрезов	Да	Нет
Необходимость предварительного и сопутствующего подогрева	Да	Нет
Проведение последующей термической обработки	Требуется	Не требуется

При восстановлении изношенных поверхностей шеек коленчатого вала с использованием лазера [4], чаще всего применяют газопорошковый способ наплавки, при котором наплавляемый порошок подается на обрабатываемую поверхность в среде защитного газа с последующим проведением низкого отпуска детали (нагрев до максимальной температуры $+250^{\circ}\text{C}$ с последующим медленным охлаждением) и последующей механической обработкой. При этом [7], при проведении операции важное значение имеют форма и дисперсность частиц напыляемого порошка. Порошки, имеющие мелкую фракцию обладают плохой текучестью и склонны к комкованию. Порошки, имеющие крупную фракцию зачастую забивают питающее устройство. Оптимальный фракционный состав порошка находится в диапазоне 40-100 мкм. При этом очень важное значение имеет подбор химического состава наплавляемого порошка, который определяет износостойкость и склонность к трещинообразованию наплавляемого слоя металла. По данным [8] установлено, что включение в состав порошковых материалах на основе никеля (Ni) углерода и бора, а также повышение скорости лазерной наплавки может привести к образованию трещин в наплавляемом покрытии. Также необходимо отметить, что коэффициент использования порошка при газопорошковом способе напыления составляет 0,2 – 0,7 и применение газопорошкового способа наплавки при восстановлении коленчатого вала ДВС возможно только при наличии дорогостоящего технологического оборудования.

Для снижения потерь наплавляемого порошка целесообразно рассмотреть альтернативные способы нанесения сырого слоя на поверхность обрабатываемой детали.

В соответствии с классификацией способов нанесения сырого слоя, приведенных в [5], возможно также применение следующих способов:

- напыление порошкового слоя методом пульверизации;
- газотермическое напыление;
- плазменное напыление;
- шликерный способ нанесения порошкового материала методом облива/методом окунания/обмазки;
- электростатический способ нанесения порошкового слоя;
- нанесение порошкового слоя магнитным полем.

При нанесении сырого слоя на поверхность наплавляемой детали, с целью экономии

дорогостоящего порошка, наиболее распространен шликерный способ. При этом металлический порошок в необходимых концентрациях вводится в клеевой состав (например «Суперцемент», БФ-6) с последующей просушкой обмазки в течение 1 часа. Одним из недостатков данного способа является наличие неметаллических включений в наплавляемом слое порошка.

С целью снижения потерь порошкового материала, возможно рассмотреть комбинированный способ, предусматривающий напыление порошкового слоя пульверизацией в электростатическом поле, с последующим проплавлением данного слоя лазерным излучением.

Данный способ способен обеспечить равномерное распределение порошкового материала по поверхности обрабатываемой детали.

Результаты и обсуждение

Особого внимания при восстановлении коленчатых валов заслуживает применение комбинированного способа нанесения восстановительного слоя металла методом плазменной наплавки износостойкого композиционного состава на шейки коленчатого вала с последующим оплавлением нанесенного слоя лазерным способом [10]. Данный способ способен существенно повысить сцепление наплавляемого слоя с материалом основы. Также применение лазера при термической обработке поверхности обладает рядом преимуществ:

- локальность термического воздействия;
- достижение сверхвысоких (порядка $10^5 - 10^6$ К/с) скоростей нагрева и охлаждения;
- точное дозирование подводимой энергии в необходимой точке обрабатываемой поверхности детали;
- широкие возможности варьирования режимов лазерной обработки;
- дополнительное легирование обрабатываемого слоя при лазерном воздействии.

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что комбинированное применение плазменной наплавки с последующей поверхностной обработкой и модификацией поверхности лазерным воздействием при восстановлении коленчатых валов ДВС является перспективным направлением и может, при отработке соответствующей технологии, привести к существенному увеличению ресурса восстанавливаемых коленчатых валов ДВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярошевич В.К, Белоцерковский М.А, Савич Е.Л. Коленчатые валы автомобильных двигателей. Мн.: БНТУ, 2003. 176 с.
2. Молодык Н.В, Зенкин А.С. Восстановление деталей машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 400 с.
3. Ли Р.И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники: учеб. пособие. Липецк: ЛГТУ, 2014. 379 с.
4. Скрипченко А.И., Попов В.О., Кондратьев С.Ю. Возможности лазерного поверхностного модифицирования деталей машиностроения // РИТМ. 2010. №6. С. 23-29.
5. Авдеев Н.В. Металлирование. М.: Машиностроение, 1978. 184 с.
6. Мелюков В.В, Чирков А.М, Орехов А.В. Технологии импульсной лазерной наплавки // Сварка и диагностика. 2009. №5. С. 41-46.
7. Иванов А.С. Анализ порошков для лазерной наплавки при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. №5(91).
8. Вараксин А.В., Костылев В.А., Лисин В.Л. [и др.] Влияние состава порошка и условий наплавки на механические свойства покрытий на основе никеля с добавками WC, нанесённых методом прямого лазерного наплавления // Бутлеровские сообщения. 2016. Т. 48. №12.
9. Воробьев Е.А. Повышение качества восстановления коленчатых валов двигателей автомобилей плазменно-порошковой наплавкой электроэрозионных материалов: Дис. Курск, 2017. 158 с.
10. Девойно О.Г. Технология формирования износостойких покрытий на железной основе методами лазерной обработки. Мн. БНТУ. 2020. 280 с.
11. Иванов В., Сидоров А., Петров Н. Подготовка поверхности металлических изделий для наплавки. Journal of Surface Engineering. 2015. №22(1). С. 34-40.
12. Смирнов И., Кузнецов М., Алексеева О. Лазерная наплавка сплавов на основе железа. Welding Journal. 2017. 46(2). Р. 123-130.
13. Петров С., Романов Д., Захаров Ю. Термическая обработка восстановленных деталей. Heat Treatment of Metals. 2018. №35(4). С. 56-62.
14. Лебедев А., Козлов В., Ильин Д. Механическая обработка восстановленных коленчатых валов. Machining Technology. 2016. №30(3). С. 210-215.

15. Кузнецов Л., Смирнова Т., Иванова Е. Характеризация наплавленных слоев методом EDX. Materials Characterization. 2019. №54(6). С. 445-450.

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95
Д.т.н., профессор, зав.кафедрой сервиса и ремонта машин
E-mail: novikovan58@bk.ru

Арцыбашев Андрей Константинович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95
Аспирант
E-mail: taganka.30.rus@mail.ru

A.K. ARTSYBASHEV, A.N. NOVIKOV

FEATURES OF RESTORING THE CRANKSHAFT OF AN AUTOMOTIVE ENGINE USING LASER SURFACE METHOD

***Abstract.** The article provides a comparative analysis of the restoration of crankshaft journals using arc and laser surfacing. The features of the existing technology for restoring crankshaft journals by laser cladding, its advantages and disadvantages are considered. Proposals are given for modifying the existing technology for restoring internal combustion engine crankshafts.*

***Keywords:** surfacing, restoration, laser, coating, heat strengthening*

BIBLIOGRAPHY

1. Yaroshevich V.K, Belotserkovskiy M.A, Savich E.L. Kolenchatye valy avtomobil'nykh dvigateley. Mn.: BNTU, 2003. 176 s.
2. Molodyk N.V, Zenkin A.S. Vosstanovlenie detaley mashin: Spravochnik. M.: Mashinostroenie, 1989. 400 s.
3. Li R.I. Tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya detaley avtotraktoroy tekhniki: ucheb. posobie. L'ipetsk: LGTU, 2014. 379 s.
4. Skripchenko A.I., Popov V.O., Kondrat'ev S.Yu. Vozmozhnosti lazernogo poverkhnostnogo modifitsirovaniya detaley mashinostroeniya // RITM. 2010. №6. S. 23-29.
5. Avdeev N.V. Metallirovanie. M.: Mashinostroenie, 1978. 184 s.
6. Melyukov V.V, Chirkov A.M, Orekhov A.V. Tekhnologii impul'snoy lazernoy naplavki // Svarka i diagnostika. 2009. №5. S. 41-46.
7. Ivanov A.S. Analiz poroshkov dlya lazernoy naplavki pri vosstanovlenii detaley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. №5(91).
8. Varaksin A.V., Kostylev V.A., Lisin V.L. [i dr.] Vliyaniye sostava poroshka i usloviy naplavki na mekhanicheskie svoystva pokrytiy na osnove nikelya s dobavkami WC, nanesionnykh metodom pryamogo lazernogo naplavlenniya // Butlerovskie soobshcheniya. 2016. T. 48. №12.
9. Vorob'ev E.A. Povysheniye kachestva vosstanovleniya kolenchatykh valov dvigateley avtomobiley plazmenno-poroshkovoy naplavkoy elektroerozionnykh materialov: Dis. Kursk, 2017. 158 s.
10. Devoyno O.G. Tekhnologiya formirovaniya iznosostoykikh pokrytiy na zheleznoy osnove metodami lazernoy obrabotki. Mn. BNTU. 2020. 280 s.
11. Ivanov V., Sidorov A., Petrov N. Podgotovka poverkhnosti metallicheskiykh izdeliy dlya naplavki. Journal of Surface Engineering. 2015. №22(1). S. 34-40.
12. Smirnov I., Kuznetsov M., Alekseeva O. Lazernaya naplavka splavov na osnove zheleza. Welding Journal. 2017. 46(2). R. 123-130.
13. Petrov S., Romanov D., Zakharov Yu. Termicheskaya obrabotka vosstanovlennykh detaley. Heat Treatment of Metals. 2018. №35(4). S. 56-62.
14. Lebedev A., Kozlov V., Il'in D. Mekhanicheskaya obrabotka vosstanovlennykh kolenchatykh valov. Machining Technology. 2016. №30(3). S. 210-215.
15. Kuznetsov L., Smirnova T., Ivanova E. Harakterizatsiya naplavlennykh sloev metodom EDX. Materials Characterization. 2019. №54(6). S. 445-450.

Novikov Alexander Nikolaevich

Oryol State University named after I.S. Turgenev
Address: 302026, Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95
Doctor of technical sciences
E-mail: novikovan58@bk.ru

Artsybashev Andrey Konstantinovich

Oryol State University named after I.S. Turgenev
Address: 302026, Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95
Postgraduate student
E-mail: taganka.30.rus@mail.ru

Научная статья

УДК 656

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-83-90

В.А. ПОЛУЭКТОВ, И.Д. МАРУСИНА, А.В. МАРУСИН, В.Г. НАЗАРКИН

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

***Аннотация.** Рассмотрены общие положения по обеспечению безопасности дорожного движения средств индивидуальной мобильности, рассмотрен опыт применяемых мер зарубежными странами. Выполнен анализ статистики дорожно-транспортных происшествий с участием СИМ, количества погибших и пострадавших. Разработана структурная схема мер повышения безопасности дорожного движения при эксплуатации средств индивидуальной мобильности.*

***Ключевые слова:** средства индивидуальной мобильности, обеспечение безопасности дорожного движения*

Введение

Активное развитие средств индивидуальной мобильности (СИМ) в последние годы существенно повышает мобильность населения, являясь при этом недорогим, доступным и экономичным видом транспортного средства. Однако вместе с популяризацией, на дорогах возникает все большее количество дорожных происшествий с их участием, что требует принятия дополнительных мер по регулированию их движения [1].

Целью данной работы является анализ текущей ситуации по обеспечению БДД СИМ, анализ статистики ДТП с участием СИМ и разработка схемы мер по повышению БДД.

Транспорт является одной из ключевых отраслей экономики, которая играет важную роль в развитии страны. Он выполняет множество функций, обеспечивая передвижение людей, товаров и ресурсов, а также связывая города и регионы. Но вместе с ростом количества и видов транспортных средств растет и аварийность [2]. Обеспечением безопасности и организацией движения, внедрением новых технологий, планированием, развитием, модернизацией и строительством в транспортной сфере занимается государство [3].

Для выполнения данных функций государство разрабатывает и применяет нормативно правовые акты и другие документы, основными из которых в настоящее время являются: ФЗ №196 «О безопасности дорожного движения», ФЗ №257 «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации», ФЗ №443 «Об организации дорожного движения в Российской Федерации», распоряжение правительства РФ «Об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018-2024 годы» [4].

Основным инструментом для достижения целей по обеспечению безопасности дорожного движения, указанных в вышеперечисленных документах, стал национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги», в рамках которого реализуется федеральный проект «Безопасность дорожного движения». Данный проект берет свое начало в 2019 году, на данный момент в нем участвуют 84 субъекта РФ и 105 городских агломераций. Основными целевыми показателями федерального проекта являются: «Удовлетворенность безопасностью дорожного движения» и «Количество погибших в дорожно-транспортных происшествиях на 10 тысяч транспортных средств». К 2030 году значение второго показателя должно соответствовать 1,0100 человек на 10 тысяч ТС, в то время как текущее значение соответствует 2,2500 человек на 10 тысяч ТС.

Исследования связанные с обеспечением безопасности дорожного движения проводятся следующими авторами: Новиков А.Н., Евтюков С.А., Сафиуллин Р.Н., Шевцова А.Г., Брылев И.С. и др. Для повышения уровня безопасности дорожного движения необходимо совершенствование велосипедной инфраструктуры – такие выводы делают Евтюков С.А. и Брылев И.С. [5], также как и Шевцова А.Г. и Новиков А.Н. [6] Сафиуллин Р.Н. в своих работах делает акцент на повышении безопасности за счет контроля технического состояния ТС [7].

© В.А. ПОЛУЭКТОВ, И.Д. МАРУСИНА, А.В. МАРУСИН, В.Г. НАЗАРКИН, 2024

В этой связи, мероприятия направленные на обеспечение безопасности движения средств индивидуальной мобильности приобретают особую актуальность.

Материал и методы

Чтобы обеспечивать безопасное и комфортабельное участие средств индивидуальной мобильности в дорожном движении, постепенно вводятся новые правила и методы, способствующие этому.

С 2023 года в Правилах Дорожного Движения было закреплено понятие СИМ: «Средство индивидуальной мобильности - транспортное средство, имеющее одно или несколько колес (роликов), предназначенное для индивидуального передвижения человека посредством использования двигателя (двигателей) (электросамокаты, электроскейтборды, гироскутеры, сигвеи, моноколеса и иные аналогичные средства)». Закреплена максимальная допустимая скорость, равная 25 км/ч [8]. Установлены правила, регулирующие использование электросамокатов в зависимости от возраста. Дети от 7 до 14 лет могут передвигаться на СИМ по тротуарам, велосипедным и пешеходным дорожкам, а также в пешеходных зонах, при этом дети младше 7 лет могут ездить только в сопровождении взрослых. Электросамокаты массой до 35 кг могут двигаться по пешеходным зонам, тротуарам и пешеходным дорожкам, если невозможно использовать велосипедные дорожки или необходимо сопровождать ребенка младше 14 лет. СИМ должны быть оснащены тормозами, звуковым сигналом, белыми фарами и световозвращателями, при этом допускается движение только на дорогах с ограничением скорости до 60 км/ч [9]. Запрещено перевозить грузы, мешающих управлению, поворачивать налево или разворачиваться в неподходящих условиях, пересекать дорогу на пешеходном переходе не спешиваясь, и держаться за руль хотя бы одной рукой.

Министерство транспорта представило проект создания онлайн-платформы, являющуюся информационной системой, содержащей информацию об установленных скоростных ограничениях в конкретных геонозах *«Предусматривает возможность размещения информации о местоположении границ объектов местности, относящихся к улицам и (или) дорогам, границ земель населенных пунктов, территорий общего пользования, особо охраняемых территорий и объектов, земель лесного фонда, зон с особыми условиями использования территорий, иных объектов, территорий и (или) зон (далее - границы объектов, земель, территорий и (или) зон) в Государственной автоматизированной информационной системе «ЭРА-ГЛОНАСС»»*. С помощью ГЛОНАСС возможен контроль за скоростью передвижений и обратная связь между ТС и центром обработки данных [10]. Данное сетевое взаимодействие между СИМ и инфраструктурой позволит повысить БДД [11].

Контроль движения при помощи QR-кода и средств радиочастотной идентификации – RFID метки, хранящей уникальную информацию о пользователе, предлагается рабочей группой по законодательному регулированию использования СИМ [12]. Также предлагается создание информационной системы СИМ, которая будет служить «для автоматизации процессов сбора, обработки и хранения информации в целях контроля, надзора и управления движением СИМ». С помощью этих механизмов владельцы будут ставить свои транспортные средства на учет, а перед началом движения проходить авторизацию через мобильное приложение, это позволит идентифицировать как водителя, так и само СИМ. Такая цифровизация может пойти на пользу [13] - при фиксации нарушения ПДД такими ТС с помощью САФ, позволит направлять водителю, а не владельцу штраф.

Шеринговые сервисы тоже занимаются вопросами соблюдения ПДД своими пользователями. Реализация контроля за соблюдением скоростных режимов пользователями в различных местах выполнена при помощи трекеров. Трекер управляет самокатом и передает телеметрию. Каждый трекер состоит из GPS и GSM модулей. Когда самокат меняет свое местоположение, трекер передает данные на сервер. Если самокат оказался в зоне со скоростным режимом, отличным от его текущего, то на трекер приходит сигнал и он либо снижает скорость, либо позволяет ехать быстрее. В зонах, где движение запрещено, при поступлении сигнала самокат плавно снижает скорость до 0 км/ч.

В этом году, сервисы по прокату электросамокатов совместно с департаментом транспорта Москвы начали устанавливать номерные знаки. Для борьбы с нарушениями используют городскую систему видеонаблюдения снабженную нейросетью, которая распознает номерной знак самоката в потоке автомобилей и пешеходов. Данные о нарушениях будут передаваться сервисам, так как номерные знаки являются не государственными, а лишь номером СИМ внутри конкретного сервиса. Компании в свою очередь будут применять санкции к пользователям, нарушившим ПДД. Такие методы позволяют оценивать поведение водителя СИМ и его манеру вождения на дороге [14]. Необходимо отметить, что объединение государства и частных компаний позволяет эффективнее реализовывать такие важные проекты [15].

Теория

Так как средства индивидуальной мобильности получили широкое распространение во всем мире, то и пути повышения безопасности движения таких ТС также внедряются повсеместно. В странах Европы было достигнуто соглашение по ограничению скорости передвижения СИМ на отметке 20 км/ч и 6 км/ч в пешеходных зонах.

Возрастное ограничение для водителей и требования к ним в каждой стране свое. Например, в Мальте для управления такими ТС должно быть водительское удостоверение с соответствующей категорией, в Германии же минимальный возраст 14 лет, должна быть оформлена страховка, а использование шлемов не обязательно, в Великобритании минимальный возраст 16 лет, обязательное использование шлема и светоотражающего жилета, необходимо наличие водительских прав, действующая страховка и номерной знак. В Лондоне же частные электросамокаты вообще запрещены [16].

В столице Норвегии, городе Осло запрещен прокат электросамокатов в ночное время с 23 часов до 5 часов утра, также ограничено максимальное количество прокатных СИМ. Власти двух других скандинавских городов Хельсинки и Стокгольма принимают аналогичные меры.

В США в виду наличия больших различий в законах от штата к штату, правила использования СИМ сильно разнятся - во Флориде максимальная скорость ограничена 48 км/ч, в Калифорнии 24 км/ч. В каких-то штатах необходимо наличие лицензии и регистрации СИМ.

С сентября 2023 года в Париже полностью запрещена быстрая аренда электросамокатов. Однако использование личных средств индивидуальной мобильности разрешено.

Все эти ограничения и запреты связаны с количеством ДТП с участием СИМ - вместе с ростом популярности их использования у населения, выросло количество пострадавших и погибших (рис. 1-3) [17].

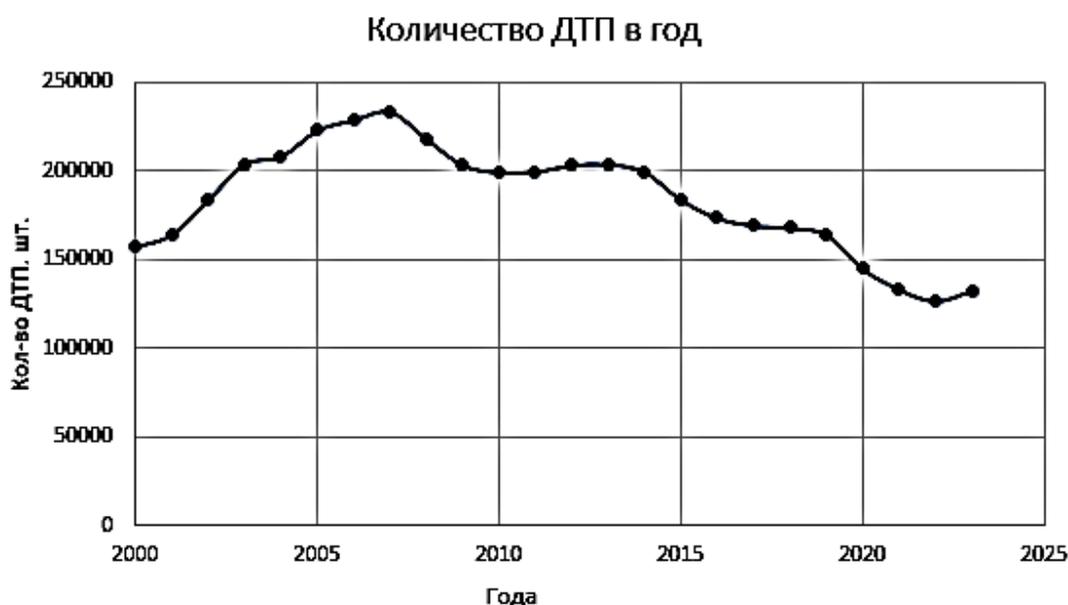


Рисунок 1 - Количество ДТП по годам

Количество ДТП с участием СИМ

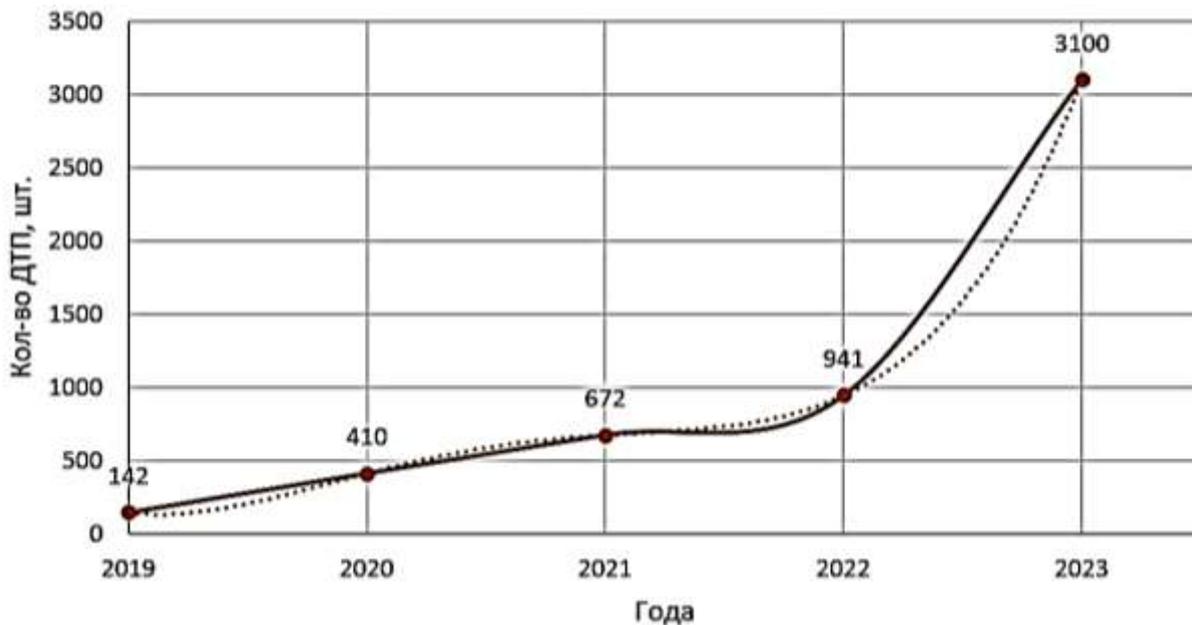


Рисунок 2 - Количество ДТП с участием СИМ по годам

Количество погибших и раненых

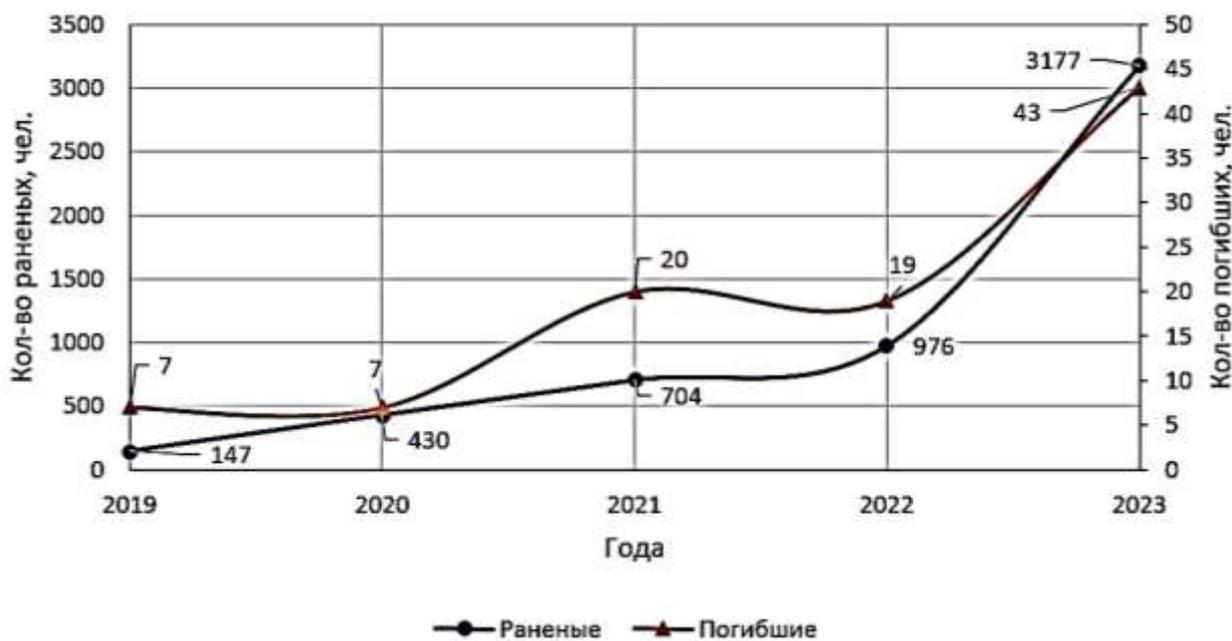


Рисунок 3 - Количество погибших и раненых в ДТП с участием СИМ

Результаты и обсуждение

Из представленных данных можно сделать вывод о том, что за последние 3 года аварийность с участием СИМ выросла почти в 8 раз, математическая модель этого процесса выглядит следующим образом:

$$y = 77,917x^4 - 629720x^3 + 2E+09x^2 - 3E+12x + 1E+15$$

Количество пострадавших тоже выросло почти в 8 раз. Распределение основного количества ДТП по регионам и распределение СИМ по принадлежности представлены на рисунках 4 и 5.

Несмотря на примерно равное распределение СИМ участвовавших в ДТП между сервисами аренды и личными ТС, большее количество погибших приходится на личные СИМ

24 человек, на СИМ сервисов аренды 19.

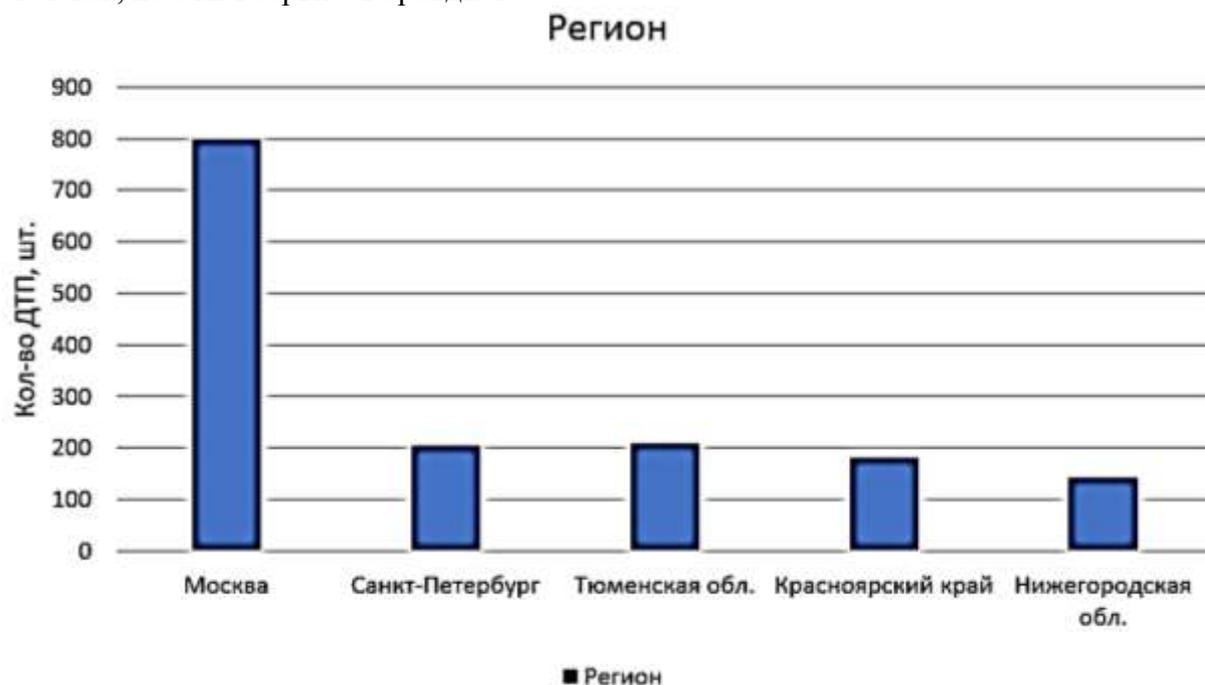


Рисунок 4 – Распределение количества ДТП по регионам

Распределение СИМ по принадлежности

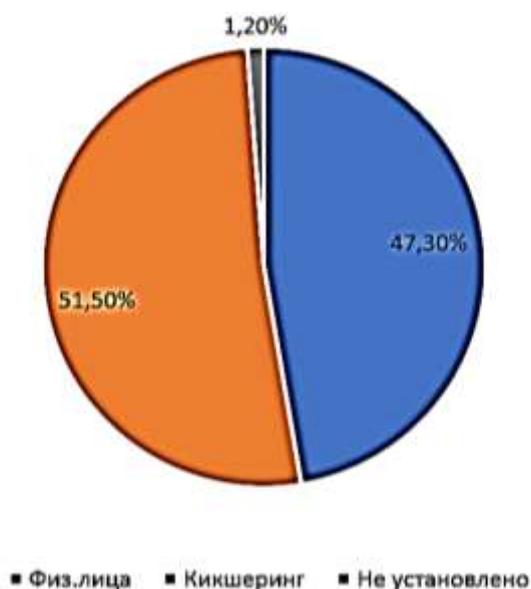


Рисунок 5 – Распределение СИМ участвовавших в ДТП по принадлежности

Связано это в первую очередь с тем, что на СИМ принадлежащим физическим лицам отсутствует как скоростной контроль, так и контроль за использованием в зонах, где движение СИМ запрещено. Сложности с идентификацией владельцев и водителей таких ТС внушает им чувство безнаказанности. Еще одной проблемой является использование таких СИМ детьми, которые могут не справиться с управлением и не знают правил ПДД. Все это говорит о необходимости применения большого количества мер, направленных на снижение травматизма при эксплуатации СИМ.

Структурная схема предлагаемых мер представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Структурная схема мер повышения БДД при эксплуатации СИМ

Вывод

Таким образом, проанализированы основные документы по безопасности дорожного движения, основные методы обеспечения БДД при эксплуатации СИМ в России, направления и методы используемые зарубежом. Выполнен анализ статистики ДТП с участием СИМ, их количество за последние 3 года выросло практически в 8 раз. На основе полученных данных разработана структурная схема мер повышения безопасности дорожного движения при эксплуатации средств индивидуальной мобильности. Разработка и применение предложенных мер позволит существенно снизить количество ДТП с СИМ и повысить культуру вождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юнг А.А., Шевцова А.Г. Моделирование процесса движения средств индивидуальной мобильности в городской среде // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2022. №1(31). EDN RISSSM.
2. Шемякин А.В., Успенский И.А., Дидманидзе О.Н. [и др.] Внедрение интеллектуальной системы в процессы перевозки грузов для увеличения безопасности транспортировки // Транспортное дело России. 2023. №5. С. 118-123. DOI 10.52375/20728689_2023_5_118. EDN SVIMTO.
3. Safiullin R.N., Reznichenko V.V., Gorlatov D.V. Modeling and optimization of processes of transportation of heavy cargoes based on the automation of monitoring systems for the motor vehicles movement // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 378 (1). doi:10.1088/1755-1315/378/1/012069.
4. Марусин А.В., Аблязов Т.Х. Государственно-частное партнерство как механизм развития автоматизированных цифровых систем // Транспорт Российской Федерации. 2019. №3(82). С. 23-25. EDN QCNDKW.
5. Евтюков С.А., Брылев И.С., Блиндер М.М. Оценка времени реакции водителя двухколесного транспортного средства при возникновении опасности // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Т. 1. Орел: Орловский государственный университет. 2021. С. 307-318. EDN GKHYTW.
6. Novikov A., Shevtsova A., Burlutskaya A., Shekhovtsova S. Development of cycling infrastructure based on the example of urban agglomeration of Belgorod // Transport Problems. 2021. Vol. 16. №3. P. 213-222. DOI 10.21307/TP-2021-054.
7. Сафиуллин Р.Н., Сафиуллин Р.Р., Сорокин К.В. Методы внедрения систем удалённого диагностирования пассажирского транспорта в городских агломерациях // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2023. №4(66). С. 18-24. EDN FXOCET.
8. Ляхов П.В., Купавцев В.А. Исследование дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности // Современная наука. 2023. №4. С. 37-42. EDN GYQHDQ.
9. Астафьев С.А., Астафьева П.С. Влияние средств индивидуальной мобильности на повышение комфортности городской среды // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. №1. С. 70-82. DOI 10.31675/1607-1859-2024-26-1-70-82. EDN DHEPVY.
10. Марусин А.В., Марусин А.В., Ворожейкин И.В. Перспективные технические решения контроля движения транспортных средств при перевозках // Развитие теории и практики автомобильных перевозок, транспортной логистики: сборник научных трудов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» (с международным участием). Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). 2017. С. 158-165. EDN YPYAQD.
11. Сафиуллин Р.Н., Сафиуллин Р.Р., Марусин А.В., Тянь Х. Адаптивно-управляемый подход формирования и оценки автоматизированных систем оперативного управления движением транспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-5(78). С. 104-111. DOI 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-104-111. EDN YJTQEW.
12. Popova I., Abdullina E., Danilov I., Marusin A., Marusin A., Ruchkina I., Shemyakin A. Application of the RFID technology in logistics // Paper presented at the Transportation Research Procedia. 2021. 57 452-462.

doi:10.1016/j.trpro.2021.09.072

13. Марусин А.В., Аблязов Т.Х. Перспективы цифровой трансформации логистики // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. №4-2. С. 240-244. EDN XJQLUH.

14. Новиков А.Н., Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Камбур А.С. Статистический анализ вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий на основе данных интеллектуальных транспортных систем Белгородской агломерации // Вестник гражданских инженеров. 2022. №5(94). С. 116-122. DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-5-116-122. EDN UJTHDW.

15. Аблязов Т.Х., Марусин А.В. Государственно-частное партнерство как механизм развития транспортной инфраструктуры в условиях формирования цифровой экономики // Экономические отношения. 2019. Т. 9. №2. С. 1271-1280. DOI 10.18334/eo.9.2.40593. EDN DBSJSE.

16. Ноговицина Е.Н. К вопросу о проблеме эксплуатации средств индивидуальной мобильности в части соблюдения ПДД РФ // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. 2022. №1(90). С. 59-65. EDN TJNXLY.

17. Митрошин Д.В., Баканов К.С., Исаев М.М. Перспективы правового и технического регулирования использования средств индивидуальной мобильности // Безопасность дорожного движения. 2024. №1. С. 11-30. EDN BYWPLX.

Полуэктвов Виктор Алексеевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4
Аспирант
E-mail: viktor.poluektov99@gmail.com

Марусина Ирина Дмитриевна

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4
Аспирант
E-mail: whiteiris89@yandex.ru

Марусин Алексей Вячеславович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4
К.т.н. доцент кафедры технической эксплуатации транспортных средств
E-mail: 89312555919@mail.ru

Назаркин Виктор Гаврилович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4
К.т.н., профессор кафедры технической эксплуатации транспортных средств
E-mail: gavrilyc@mail.ru

V.A. POLUEKTOV, I.D. MARUSINA, A.V. MARUSIN, V.G. NAZARKIN

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE SAFE USE OF PERSONAL MOBILITY DEVICES

***Abstract.** The general provisions on ensuring road safety of individual mobility means are considered, the experience of measures applied by foreign countries is reviewed. The statistics of road traffic accidents with the participation of personal mobility equipment, the number of dead and injured people is analysed. The structural scheme of measures to improve road safety in the operation of individual mobility means is developed.*

***Keywords:** means of individual mobility, ensuring road safety*

BIBLIOGRAPHY

1. Yung A.A., Shevtsova A.G. Modelirovanie protsessa dvizheniya sredstv individual'noy mobil'nosti v gorodskoy srede // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. 2022. №1(31). EDN RISSSM.
2. Shemyakin A.V., Uspenskiy I.A., Didmanidze O.N. [i dr.] Vnedrenie intellektual'noy sistemy v protsessy perevozki грузов для увеличения безопасности транспортировки // Транспортное дело России. 2023. №5. С. 118-123. DOI 10.52375/20728689_2023_5_118. EDN SVIMTO.
3. Safiullin R.N., Reznichenko V.V., Gorlatov D.V. Modeling and optimization of processes of transportation of heavy cargoes based on the automation of monitoring systems for the motor vehicles movement // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 378 (1). doi:10.1088/1755-1315/378/1/012069.
4. Marusin A.V., Ablyazov T.H. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo kak mekhanizm razvitiya avtomatizirovannykh tsifrovyykh sistem // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2019. №3(82). С. 23-25. EDN QCNDKW.
5. Evtyukov S.A., Brylev I.S., Blinder M.M. Otsenka vremeni reaktsii voditelya dvukhkolesnogo transportnogo sredstva pri vzniknovenii opasnosti // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2-kh tomakh. Т. 1. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet. 2021. С. 307-318. EDN GKHYTW.

6. Novikov A., Shevtsova A., Burlutskaya A., Shekhovtsova S. Development of cycling infrastructure based on the example of urban agglomeration of Belgorod // *Transport Problems*. 2021. Vol. 16. №3. P. 213-222. DOI 10.21307/TP-2021-054.
7. Safiullin R.N., Safiullin R.R., Sorokin K.V. Metody vnedreniya sistem udalionnogo diagnostirovaniya passazhirskogo transporta v gorodskikh aglomeratsiyakh // *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*. 2023. №4(66). S. 18-24. EDN FXOCET.
8. Lyakhov P.V., Kupavtsev V.A. Issledovanie dorozhno-transportnykh proisshestviy s uchastiem sredstv individual'noy mobil'nosti // *Sovremennaya nauka*. 2023. №4. S. 37-42. EDN GYQHDQ.
9. Astaf'ev S.A., Astaf'eva P.S. Vliyanie sredstv individual'noy mobil'nosti na povyshenie komfortnosti gorodskoy srede // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2024. T. 26. №1. S. 70-82. DOI 10.31675/1607-1859-2024-26-1-70-82. EDN DHEPVY.
10. Marusin A.V., Marusin A.V., Vorozheykin I.V. Perspektivnye tekhnicheskie resheniya kontrolya dvizheniya transportnykh sredstv pri perevozkakh // *Razvitie teorii i praktiki avtomobil'nykh perevozok, transportnoy logistiki: sbornik nauchnykh trudov kafedry «Organizatsiya perevozok i upravlenie na transporte» (s mezhdunarodnym uchastiem)*. Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil'no-dorozhnyy universitet (SibA-DI). 2017. S. 158-165. EDN YPYAQD.
11. Safiullin R.N., Safiullin R.R., Marusin A.V., Tyan` H. Adaptivno-upravlyаемyy podkhod formirovaniya i otsenki avtomatizirovannykh sistem operativnogo upravleniya dvizheniem transportnykh sredstv // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2022. №3-5(78). S. 104-111. DOI 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-104-111. EDN YJTQEW.
12. Popova I., Abdullina E., Danilov I., Marusin A., Marusin A., Ruchkina I., Shemyakin A. Application of the RFID technology in logistics // *Paper presented at the Transportation Research Procedia*. 2021. 57 452-462. doi:10.1016/j.trpro.2021.09.072
13. Marusin A.V., Ablyazov T.H. Perspektivy tsifrovoy transformatsii logistiki // *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava*. 2019. №4-2. S. 240-244. EDN XJQLUH.
14. Novikov A.N., Kushchenko L.E., Novopisnyy E.A., Kambur A.S. Statisticheskyy analiz veroyatnosti vozniknoveniya dorozhno-transportnykh proisshestviy na osnove dannykh intellektual'nykh transportnykh sistem Belgorodskoy aglomeratsii // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2022. №5(94). S. 116-122. DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-5-116-122. EDN UJTHDW.
15. Ablyazov T.H., Marusin A.V. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo kak mekhanizm razvitiya transportnoy infrastruktury v usloviyakh formirovaniya tsifrovoy ekonomiki // *Ekonomicheskie otnosheniya*. 2019. T. 9. №2. S. 1271-1280. DOI 10.18334/eo.9.2.40593. EDN DBSJSE.
16. Nogovitsina E.N. K voprosu o probleme ekspluatatsii sredstv individual'noy mobil'nosti v chasti soblyudeniya PDD RF // *Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova*. 2022. №1(90). S. 59-65. EDN TJNXLY.
17. Mitroshin D.V., Bakanov K.S., Isaev M.M. Perspektivy pravovogo i tekhnicheskogo regulirovaniya ispol'zovaniya sredstv individual'noy mobil'nosti // *Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya*. 2024. №1. S. 11-30. EDN BYWPLX.

Poluektov Viktor Alekseevich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4
Postgraduate student
E-mail: viktor.poluektov99@gmail.com

Marusina Irina Dmitrievna

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4
Postgraduate student
E-mail: whiteiris89@yandex.ru

Marusin Alexey Vyacheslavovich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4
Candidate of technical sciences
E-mail: 89312555919@mail.ru

Nazarkin Viktor Gavrilovich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4
Candidate of technical sciences
E-mail: gavrilyc@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13(1-21):614.846.6:621.43.068:504.3.064.36

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-91-97

В.Н. ЛОЖКИН, И.В. САЦУК

РОБОТО-ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОЖАРНЫХ МАШИН

Аннотация. В аспекте развития автотранспортных интеллектуальных систем, предложен метод диагностирования эколого-пожарно-опасных режимов работы поршневого двигателя с воспламенением от сжатия (дизелей). Метод основан на использовании робота-манипулятора, задающего процессорным устройством режим свободного ускорения требуемой стандартной интенсивности по оригинальной программе. Способ идентифицирует опасные режимы технической эксплуатации с использованием анализа состава отработавших газов и протестирован на модельном полноразмерном дизеле 4С11/12.5 в стендовых условиях.

Ключевые слова: робот-манипулятор, интеллектуальная система, пожарная машина, дизель, аварийный режим, опасность, моделирование, диагностика

Введение

Характеристика проблемы

Причиной, мотивировавшей научное исследование, явилось вступление в новый этап развития интеллектуальных автотранспортных систем [1, 2] в критический для цивилизации период, так называемого, тройственного всепланетарного кризиса [3], выражающегося потеплением климата [4], сокращением биологического разнообразия видов [5] и загрязнением среды обитания [6-8]. Потепление климата сопровождается сегодня катастрофическим ростом стихийных бедствий для населения: пожаров, подтоплений, наводнений. Так, весной 2023 года во многих регионах России наблюдались мощные лесные и торфяные пожары (рис. 1).



Рисунок 1 – Картина «активности» природных пожаров в России (2023 год, апрель): <https://tass.ru/info/17617413?ysclid=lvdikpvfpf360486321>

Прямой противоположностью 2023 году оказался апрель 2024 года в России: буквально, те же территории России «знаменуются» масштабными паводками, половодьями и наводнениями, которые не наблюдались ранее более 70 лет. Чрезвычайные ситуация (ЧС) сопровождаются серьезнейшими инфраструктурными разрушениями в населенных пунктах (рис. 1).

Объективно сложная обстановка при ведении работ аварийного реагирования на природные и техногенные ЧС (рис. 2), требует особого внимания к специфичным проблемам разработки и эксплуатации мобильной пожарной техники [9], в частности, пожарных автомобилей (ПА) [10, 11]. Критический анализ сложившейся ситуации [12, 13] позволяет констатировать, что актуальные вопросы разработки ПА и их двигателей во многом репрезентативны гражданским автотранспортным средствам [14, 15], на базовых шасси которых они развиваются в парадигме удовлетворения требованиям эффективности, надежности и безопасности.



Рисунок 2 – Катастрофические последствия паводковых наводнений после разлива рек (РФ, 2024 год, апрель), <https://tass.ru/info/20478937?ysclid=lvdir284qd19908684>)

Зарубежные [16] и отечественные [4] ученые едины во мнении о том, что главным источником поступления в атмосферу парниковых газов, изменяющих климат, и поллютантов отработавших газов (ОГ), концентрация которых в городах зависит от климатических и гидрометеорологических факторов тропосферы [5], являются автомобили гражданского (преимущественно) и специального назначения. Если трагедия ЧС природного или техногенного характера проявления уже произошла, то успех спасательных операций, в значительной степени, определяется технической исправностью пожарных автомобилей (ПА) и их двигателей [6]. В связи с отмеченным, особое значение приобретает разработка методов технического диагностирования аварийно-опасных режимов эксплуатации ПА.

Целью работы явилось развитие методологии без-разборного технического диагностирования аварийных режимов эксплуатации ПА.

Материал и методы

Освоение инструментальных методов контроля состава ОГ автоматическими быстродействующими высокоточными газоанализаторами, работающими на физических принципах детектирования [7], обеспечили возможность их применения для решения обратных задач, а именно, – безразборной диагностики аварийно-опасных неисправностей двигателя, его топливной аппаратуры и каталитических нейтрализаторов по данным измерения газообразных и аэрозольных компонент в составе ОГ [8].

В РФ неисправное, в частности, аварийное состояние автомобильных двигателей с воспламенением от сжатия (дизелей) в условиях эксплуатации определяется измерением дымности отработавших газов на режиме свободного ускорения (СУ) по ГОСТ 33997-2016. Процедура испытаний на режиме СУ производится на «холостых ходах» путем «разгона» дизеля от минимально устойчивых до максимальных оборотов за временной промежуток 1-2 секунды. Авторские исследования [17] показали, что, при недостаточных квалификации и опыта диагноста, неисправное (аварийное) состояние дизеля может быть и не выявленным. Последнее связано с тем, что при недостаточной интенсивности воздействия на педаль акселератора («газа») дизель может не выйти на «корректирующую внешнюю характеристику» по нагрузке.

С целью устранения отмеченной методической неопределенности нами было разработано и изготовлено робототехническое устройство (рис. 3), которое позволяло обеспечивать «разгон» двигателя во временном интервале (0.5-0.1) – 0.5 секунд. Испытания проводились на полноразмерном дизеле 4Ч11/12.5 в стендовых условиях на лабораторной базе ООО

ЦНИТА (Санкт-Петербург).

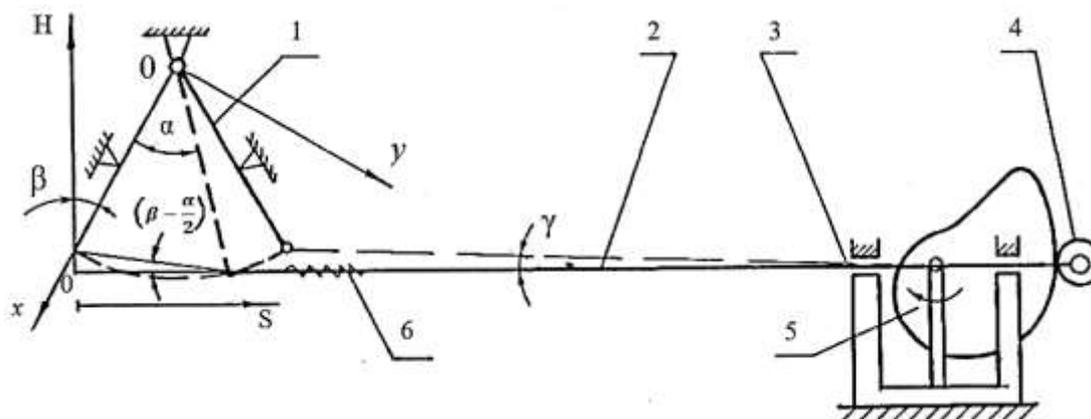


Рисунок 3 – Схема робототехнического устройства воздействия на рычаг подачи топлива дизеля 4Ч11/12.5: 1 – рычаг привода «рейки» топливного насоса; 2 – гибкая тяга; 3 – штанга-толкатель; 4 – ролик, связанный со штангой-толкателем; 5 – сегмент «кулачковый»; 6 – возвратная пружина

Теория / Расчет

Научная теоретическая гипотеза, на которой базируется оригинальный метод технического диагностирования пред-аварийных режимов эксплуатации автомобильных дизелей, состоит в ранее доказанном утверждении [17] того, что отработавшие газы дизелей, «по умолчанию», содержат информацию о качестве (завершенности) протекания процесса окисления углеводородного горючего в цилиндрах при воспроизведении на режимах СУ – «выхода» дизеля на «корректирующую внешнюю характеристику» по нагрузке.

На данном теоретическом постулате была выстроена инструментальная методика проведения факторного эксперимента на режиме СУ и, *расчетным путем* регрессионного анализа получены уравнения, закономерно связывающие отклонения, выше допустимых значений, основных установочных регулировок топливоподачи $g_{цн}$, P_f , $\mu f_{ср}$, Θ , с дымностью и составом ОГ – K , CO , NO_x , CH , CO_2 .

Результаты и обсуждение

На рисунке 4 показаны результаты экспериментальных исследований показателей инерционного нагружения дизеля 4Ч11/12.5 при помощи робототехнического устройства. Установлено, что ускорение вращения коленчатого вала увеличивается пропорционально моменту динамического нагружения и определяется, исключительно, временным интервалом перемещения рычага управления топливоподачи до регулировочного «упора». С перемещением рычага управления топливоподачи от положения, соответствующего минимальным оборотам коленчатого вала до «упора» за интервал 0,8 с (рис. 4 в), – дизель не выходит на «корректирующую внешнюю характеристику» по нагрузке. С перемещением рычага управления топливоподачи до «упора» за интервал 0,6 с (рис. 4 б) – дизель работает на «корректирующей внешней характеристике» по нагрузке, но только кратковременно (приблизительно, 0,01 секунды). При «разгонах», воспроизводимых перемещением рычага управления топливоподачи до регулировочного «упора» за временной интервал 0,5 с, – динамическая нагрузка изменяется по закономерности «корректирующей внешней характеристики» (смотри кривую линию ε , рис. 4 а). По данной испытательной процедуре производились последующие испытания дизеля 4Ч11/12.5 по плану многофакторного эксперимента для установления эмпирических закономерностей в форме таблиц и графиков.

В целях удобства пользования установленными эмпирическими закономерностями в форме таблиц и графиков (не приводятся в статье) для осуществления технической диагностики автоматизированным путем с помощью цифровых процессоров, выявленный характер эмпирических закономерностей был преобразован в форму уравнений множественной регрессии связи основных установочных регулировок топливоподачи с дымностью и составом

ОГ. Для примера, ниже приведены расчетные уравнения (2), ..., (5) для дизеля 4РЧ 11/12.5 при аппроксимации выявленных закономерностей в форме степенной модели (1).

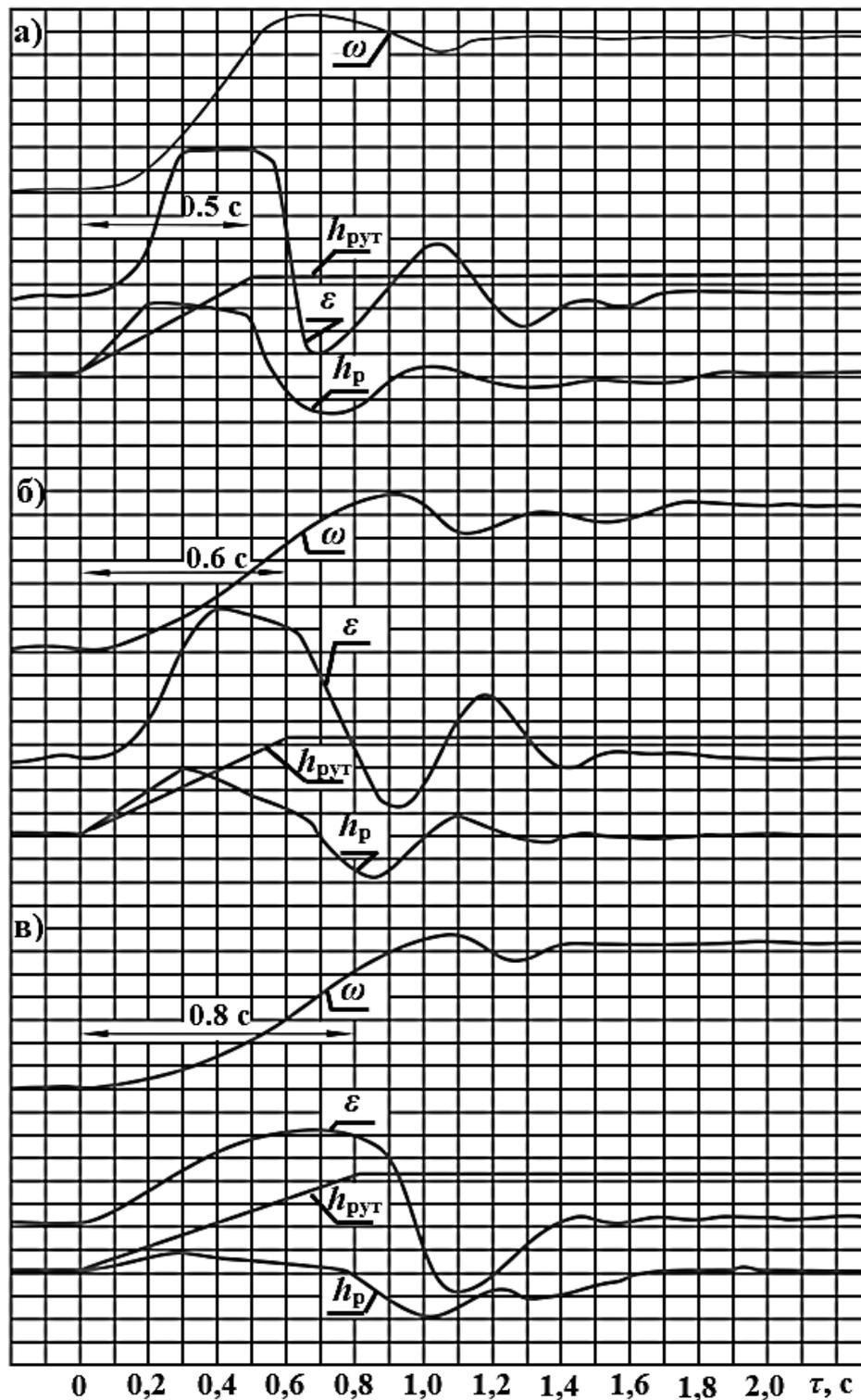


Рисунок 4 – Характер изменения «угловых» скорости ε и ускорения ω вращения коленчатого вала, перемещения «рейки» насоса h_p и рычага управления топливоподачи $h_{рут}$ в зависимости от продолжительности воздействия τ на рычаг управления топливоподачи

Степенная модель вида:

$$y = ax_1^{b1} \cdot x_2^{b2} \cdot x_3^{b3} \cdot x_4^{b4} \cdot x_5^{b5}, (1)$$

и соотношения множественной регрессии, ей соответствующие:

$$g_{\text{цн}} = 174,484 \cdot K^{0,133} \cdot \text{CH}^{-1,132} \cdot \text{NO}_x^{0,243} \cdot \text{CO}_2^{34,869} \cdot \text{CO}^{-0,878}, \quad (2)$$

$$P_{\text{ф}} = 2,470 \cdot K^{-0,962} \cdot \text{CH}^{0,565} \cdot \text{NO}_x^{0,374} \cdot \text{CO}_2^{3,735} \cdot \text{CO}^{-0,019}, \quad (3)$$

$$\mu f_{\text{ср}} = 0,198 \cdot K^{0,248} \cdot \text{CH}^{0,009} \cdot \text{NO}_x^{-0,130} \cdot \text{CO}_2^{0,186} \cdot \text{CO}^{-0,044}, \quad (4)$$

$$\Theta = 460,849 \cdot K^{0,387} \cdot \text{CH}^{0,164} \cdot \text{NO}_x^{0,621} \cdot \text{CO}_2^{-4,910} \cdot \text{CO}^{-1,018}, \quad (5)$$

где $g_{\text{цн}}$ – регулировочное значение цикловой порции горючего на «номинале», мм³/цикл;
 $P_{\text{ф}}$ – регулировочное значение давления открытия форсунки, МПа;
 $\mu f_{\text{ср}}$ – подобранное среднее значение площади сопловых каналов распылителей, мм²;
 Θ – регулировочное значение угла предварения подачи горючего, град. п.к.в. до ВМТ;
 $K, \text{CO}, \text{NO}_x, \text{CH}, \text{CO}_2$ – средние значения, соответственно, задымленности ОГ при СУ, %; содержания окиси углерода, млн⁻¹; окислов азота в приведении к диоксиду азота NO_2 , млн⁻¹; суммы «летучих» углеводородов, млн⁻¹; двуокиси углерода, об.%, значения которых измеряются после отбора ОГ при СУ в эластичные контейнеры. Средняя относительная погрешность оценки диагностируемых технических параметров топливоподачи (в %) $g_{\text{цн}} - 0.157$; $P_{\text{ф}} - 0.112$; $\mu f_{\text{ср}} - 0.068$; $\Theta - 0.799$.

Вывод

Предлагается оригинальный инструментальный метод контроля сверх допустимых (аварийных, относительно значений требований завода-производителя), отклонений основных регулировочных параметров подачи горючего по дымности и составу ОГ на режиме испытаний СУ, задаваемого робототехническим устройством. Аварийные отклонения значений технических параметров топливоподачи оцениваются по адекватным уравнениям множественной регрессии. Способ протестирован экспериментом на полноразмерном дизеле 4С11/12.5 в стендовых условиях проведения испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические основы организации экологических зон с низкими выбросами автомобильного транспорта: монография / В.В. Донченко, Ю.В. Трофименко, М.И. Шаров, С.В. Шелмаков, А.В. Лобиков, В.С. Чижова: СПб.: Издательство-полиграфическая компания «Коста», 2023. 264 с.
2. Кочегаров А.В., Плаксицкий А.Б., Денисов М.С., Сайко Д.С. Математическая модель оптимизации прибытия пожарного подразделения с использованием информационных систем мониторинга транспортной логистики города Воронежа // Вестник ВГУ-ИТ. 2016. №3. С. 116-122. DOI:10.20914/2310-1202-2016-3-116-122.
3. Hellweg S., Benetto. E., Huijbregts. Mark A. J., Verones. F., Wood. R. Life-cycle assessment to guide solutions for the triple planetary crisis // NATURE REVIEWS EARTH & ENVIRONMENT. 2023. Vol. 4. P. 471-486. DOI: 10.1038/s43017-023-00449-2.
4. Fan J.Y., Li A.Y., Iahi A., Gao K. Emission impacts of left-turn lane on light-heavy-duty mixed traffic in signalized intersections: Optimization and empirical analysis // HELIYON: Publisher name ELSEVIER SCI LTD. 2023. V. 9. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16260.
5. Изменения климата и экономика России: тенденции, сценарии, прогнозы: монография // Б.Н. Порфирьев, В.И. Данилов-Данильян, В.М. Катцов и др.; под редакцией академика РАН Б.Н. Порфирьева, члена-корреспондента РАН В.И. Данилова-Данильяна. Москва: Науч. консультант. 2022. 513 с.
6. Lozhkina O., Lozhkin V. Estimation of nitrogen oxides emissions from petrol and diesel passenger cars by means of on-board monitoring: Effect of vehicle speed, vehicle technology, engine type on emission rates // Transportation Research Part D: Transport And Environment. V. 47. 2016. P. 251-264. DOI: 10.1016/j.trd.2016.06.008.
7. Aicardi M., Ferro G., Minciardi R., Parodi L., Robbaet M. Modelling and optimization of emissions in steady state urban traffic networks [Электронный ресурс] / International Federation of Automatic Control: Paper-sOnLine. 2022. V. 55. P. 31-36. URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
8. Kaushik N., Das R., Investigation of NOx and related secondary pollutants at Anand Vihar, one of the most polluted area of Delhi // URBAN CLIMATE: ELSEVIER. V. 52. 2023. DOI: 10.1016/j.uclim.2023.101747.
9. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Сравнительный анализ содержания поллютантов в отработавших газах силовых установок маломерных судов и автотранспортных средств // Двигателестроение. 2024. №1(295). С. 21-32.
10. Hnilicová M., Priatka M., Hnilica R., Messingerová V. Technological employment of fire-fighting adapter to increase the efficiency of extinguishing forest fires // Central European Forestry Journal. 2022. №68(4). P. 471-486. DOI: 10.2478/forj-2022-0009.
11. Логинов В.И., Мичудо Д.Г., Навценя Н.В., Пичугин А.И., Яковенко К.Ю. Этапы и направления создания и производства пожарных автомобилей в современной России // Пожарная безопасность. 2021. №2(97). С. 51-59.

12. Сацук И.В. Закономерности распределения и технического состояния эксплуатируемых пожарных автомобилей по показателям конструктивной безопасности силовых установок // Сибирский пожарно-спасательный вестник. №2. 2022. С. 31-38. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.97.004.

13. Ложкин В.Н. Обеспечение экологической безопасности силовых установок пожарной техники в условиях глобальных вызовов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. №72/73. 2023. С. 6-13. EDN: WBXBUC.

14. Abatzoglou J.T., Williams A.P., Barbero R. Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices // Geophysical Research Letters. 2019. №46. P. 326-336. DOI: 10.1029/2018GL080959.

15. Гайворонский А.И., Гордин В.М., Марков В.А. Проблемы и перспективы использования безуглеродных и низкоуглеродных моторных топлив в условиях различных сценариев перехода к углеродно-нейтральной энергетике. Двигателестроение. 2022. №2. С. 4-28. DOI: 10.18698/jec.2022.2.4-28.

16. Ложкин В.Н., Ложкина О.В., Селиверстов С.А., Крипак М.Н. Прогнозирование опасного загрязнения воздуха круизными судами и автотранспортными средствами в зонах их совместного влияния в Севастополе, Владивостоке и Санкт-Петербурге // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. №1(81). С. 38-50. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.1.38-50.

17. Wilde S.E., Padilla L.E., Farren N.J., Alvarez R.A., Wilson S., Lee J.D., Wagner R.L., Slater G., Peters D., Carslaw D.C. Mobile monitoring reveals congestion penalty for vehicle emissions in London // ATMOSPHERIC ENVIRONMENT-X: ELSEVIER SCI LTD. V. 21. 2024. A. № 100241. DOI: 10.1016/j.aeaoa.2024.100241.

18. Ложкин В.Н. Теория и практика диагностики пожароопасных режимов эксплуатации каталитических нейтрализаторов // Пожаровзрывобезопасность. Т. 31. №3. М. 2022. С. 65-74. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.65-74.

Ложкин Владимир Николаевич

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России

Адрес: 196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149

Д.т.н., профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства

E-mail: vnlojkin@yandex.ru

Сацук Иван Владимирович

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России

Адрес: 196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149

Адъюнкт

E-mail: kviteren@gmail.com

V.N. LOZHIN, I.V. SATSUK

ROBOTIC-TECHNICAL METHOD FOR CONTROL OF EMERGENCY OPERATING MODES OF FIRE ENGINES

Abstract. *In the aspect of the development of motor transport intelligent systems, a method for diagnosing environmental, fire and hazardous operating conditions of piston engines with compression ignition (diesels) is proposed. The method is based on the use of a robotic manipulator, which sets the free acceleration mode of the required standard intensity using the processor device according to the original program. The method identifies dangerous modes of technical operation using analysis of the exhaust gas composition and was tested on a model full-size diesel engine 4Ch11/12.5 in bench conditions.*

Keywords: *robotic manipulator, intelligent system, fire truck, diesel, emergency mode, danger, modeling, diagnostics*

BIBLIOGRAPHY

1. Metodicheskie osnovy organizatsii ekologicheskikh zon s nizkimi vybrosami avtomobil'nogo transporta: monografiya / V.V. Donchenko, Yu.V. Trofimenko, M.I. Sharov, S.V. Shelmakov, A.V. Lobikov, V.S. Chizhova: SPb.: Izdatel'stvo-poligraficheskaya kompaniya «Kosta», 2023. 264 s.

2. Kohegarov A.V., Plaksitskiy A.B., Denisov M.S., Sayko D.S. Matematicheskaya model' optimizatsii priblyuzheniya pozharnogo podrazdeleniya s ispol'zovaniem informatsionnykh sistem monitoringa transportnoy logistiki goroda Voronezha // Vestnik VGU-IT. 2016. №3. S. 116-122. DOI:10.20914/2310-1202-2016-3-116-122.

3. Hellweg S., Benetto. E., Huijbregts. Mark A. J., Verones. F., Wood. R. Life-cycle assessment to guide solu-

- tions for the triple planetary crisis // NATURE REVIEWS EARTH & ENVIRONMENT. 2023. Vol. 4. P. 471-486. DOI: 10.1038/s43017-023-00449-2.
4. Fan J.Y., Li A.Y., Ilahi A., Gao K. Emission impacts of left-turn lane on light-heavy-duty mixed traffic in signalized intersections: Optimization and empirical analysis // HELIYON: Publisher name ELSEVIER SCI LTD. 2023. V. 9. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16260.
5. Izmeneniya klimata i ekonomika Rossii: tendentsii, stsenarii, prognozy: monografiya // B.N. Porfir`ev, V.I. Danilov-Danil`yan, V.M. Kattsov i dr.; pod redaktsiey akademika RAN B.N. Porfir`eva, chlena-korrespondenta RAN V.I. Danilova-Danil`yana. Moskva: Nauch. konsul`tant. 2022. 513 s.
6. Lozhkina O., Lozhkin V. Estimation of nitrogen oxides emissions from petrol and diesel passenger cars by means of on-board monitoring: Effect of vehicle speed, vehicle technology, engine type on emission rates // Transportation Research Part D: Transport And Environment. V. 47. 2016. P. 251-264. DOI: 10.1016/j.trd.2016.06.008.
7. Aicardi M., Ferro G., Minciardi R., Parodi L., Robbaet M. Modelling and optimization of emissions in steady state urban traffic networks [Elektronnyy resurs] / International Federation of Automatic Control: PapersOnLine. 2022. V. 55. P. 31-36. URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
8. Kaushik N., Das R., Investigation of NOx and related secondary pollutants at Anand Vihar, one of the most polluted area of Delhi // URBAN CLIMATE: ELSEVIER. V. 52. 2023. DOI: 10.1016/j.uclim.2023.101747.
9. Lozhkina O.V., Mal`chikov K.B. Sravnitel`nyy analiz sodержaniya pollyutantov v otrabotavshikh ga-zakh silovykh ustanovok malomernykh sudov i avtotransportnykh sredstv // Dvigatelistroenie. 2024. №1(295). S. 21-32.
10. Hnilicov M., Priatka M., Hnilica R., Messingerov V. Technological employment of fire-fighting adapter to increase the efficiency of extinguishing forest fires // Central European Forestry Journal. 2022. №68(4). P. 471-486. DOI: 10.2478/forj-2022-0009.
11. Loginov V.I., Michudo D.G., Navtsenya N.V., Pichugin A.I., Yakovenko K.Yu. Etapy i napravleniya sozdaniya i proizvodstva pozharnykh avtomobiley v sovremennoy Rossii // Pozharnaya bezopasnost`. 2021. №2(97). S. 51-59.
12. Satsuk I.V. Zakonomernosti raspredeleniya i tekhnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruemykh pozharnykh avtomobiley po pokazatelyam konstruktivnoy bezopasnosti silovykh ustanovok // Sibirskiy pozharno-spatel`nyy vestnik. №2. 2022. C. 31-38. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.97.004.
13. Lozhkin V.N. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti silovykh ustanovok pozharnoy tekhniki v usloviyakh global`nykh vyzovov // Nauchno-tekhnicheskii sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva. №72/73. 2023. S. 6-13. EDN: WBXBUC.
14. Abatzoglou J.T., Williams A.P., Barbero R. Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices // Geophysical Research Letters. 2019. №46. P. 326-336. DOI: 10.1029/2018GL080959.
15. Gayvoronskiy A.I., Gordin V.M., Markov V.A. Problemy i perspektivy ispol`zovaniya bezuglerodnykh i nizkouglerodnykh motornykh topliv v usloviyakh razlichnykh stsenariiev perekhoda k uglerodno-neytral`noy energetike. Dvigatelistroenie. 2022. №2. S. 4-28. DOI: 10.18698/jec.2022.2.4-28.
16. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V., Seliverstov S.A., Kripak M.N. Prognozirovaniye opasnogo zagryazne-niya vozdukha kruiznymi sudami i avtotransportnymi sredstvami v zonakh ikh sovместnogo vliyaniya v Sevastopole, Vladivostoke i Sankt-Peterburge // Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 2020. №1(81). S. 38-50. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.1.38-50.
17. Wilde S.E., Padilla L.E., Farren N.J., Alvarez R.A., Wilson S., Lee J.D., Wagner R.L., Slater G., Peters D., Carslaw D.C. Mobile monitoring reveals congestion penalty for vehicle emissions in London // ATMOSPHERIC ENVIRONMENT-X: ELSEVIER SCI LTD. V. 21. 2024. A. № 100241. DOI: 10.1016/j.aeaoa.2024.100241.
18. Lozhkin V.N. Teoriya i praktika diagnostiki pozharoopasnykh rezhimov ekspluatatsii kataliticheskikh neytralizatorov // Pozharovzryvbezopasnost`. T. 31. №3. M. 2022. S. 65-74. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.65-74.

Lozhkin Vladimir Nikolaevich

St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
Address: 196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky Avenue, 149
Doctor of technical sciences
E-mail: vnlojkin@yandex.ru

Satsuk Ivan Vladimirovich

St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
Address: 196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky Avenue, 149
Adjunct
E-mail: kviteren@gmail.com

Научная статья

УДК 656.142

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-98-106

Е.В. ПЕЧАТНОВА, И.А. НОВИКОВ, С.Н. ПАВЛОВ, А.В. ЕСЬКОВ

ЧАСТОТНАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ВОДИТЕЛЯ ПРИ НАЕЗДАХ НА ПЕШЕХОДА

***Аннотация.** Проблема наездов на пешеходов на федеральных автомобильных дорогах является актуальной в связи с тем, что данная категория участников дорожного движения является наиболее уязвимой и такие ДТП отличаются повышенной тяжестью последствий. Большое число российских и зарубежных исследований содержат выводы о значимом влиянии характеристик водителя на частоту наездов на пешеходов, однако основная часть работ сосредоточена на анализе в рамках городских условий. В статье представлены результаты частотной оценки характеристик водителей, совершивших наезд на пешехода на примере федеральных автомобильных дорог (ФАД) Алтайского края. Проанализированы следующие параметры водителя: возраст, стаж, пол, тип транспортного средства, тип нарушения ПДД. Основные особенности характеристик водителя, совершивших наезд на пешехода на ФАД Алтайского края выявлены с помощью одномерного и двухмерного частотного анализа. Полученные выводы могут использоваться для разработки эффективных профилактических мероприятий по повышению культуры вождения, предупреждению опасного и рискованного поведения водителей во время управления автомобилем.*

***Ключевые слова:** наезды на пешехода, двухмерный анализ, характеристики водителя, федеральные автомобильные дороги, частотная оценка*

Введение

Согласно мировым статистическим данным, дорожные аварии с участием пешеходов являются одним из распространенных видов ДТП. Этот вид участников дорожного движения является наиболее уязвимыми, поскольку при ДТП они получают непосредственные ранения в результате контакта с движущимся транспортным средством, в отличие от пассажиров и водителей [1]. Около четверти погибших в ДТП в мире являются пешеходами [2]. Проблема наездов на пешеходов усугубляется по всему миру, что связано с активными процессами урбанизации, ростом пешеходной мобильности при сохранении большого числа нарушений ПДД как со стороны водителей, так и пешеходов [3]. Поэтому обеспечение безопасности пешеходов и предотвращение их гибели в дорожных авариях имеют первостепенное значение [4].

Вопросы влияния различных факторов на риск возникновения наезда на пешехода рассмотрены различными авторами. В работе [5] исследуется взаимосвязь интенсивности пешеходного движения и частоты наездов в крупных городах Южной Кореи, в частности подтверждена гипотеза о том, что вероятность тяжелых или смертельных травм, уменьшается по мере увеличения количества пешеходов. Исследование [6] сосредоточено на анализе социальных характеристик как одного из факторов пешеходной аварийности. Статья [7] содержит результаты влияния комплекса параметров на вероятность наезда на пешехода, в частности приводится вывод о том, что пешеходы в возрасте от 40 до 60 лет чаще всего становятся участниками аварий со смертельным исходом; пешеходы – мужчины с большой частотой попадают в аварии на перекрестках дорог, тогда как женщины – пешеходы – на перекрестках. Также влияние возраста и других характеристик пешеходов и водителей рассмотрено в следующих работах: влияние возраста на тяжесть травм пешехода [8]; связь транспортного средства, возраста и параметров окружающей среды с тяжестью травм пешехода [9]; оценка влияния дорожной инфраструктуры, человеческого фактора на частоту наездов на пешеходов [10]; анализ воздействия возраста пешехода, водителя, проблем со здоровьем, признаки рискованного поведения как факторы наездов на пешеходов [11]; связь пола, возраста с риском возникновения наезда на пешехода и вероятность летального исхода [12]. Не смотря на некоторые различия в результатах, все иссле-

© Е.В. ПЕЧАТНОВА, И.А. НОВИКОВ, С.Н. ПАВЛОВ, А.В. ЕСЬКОВ, 2024

дователи отмечают значимую роль возраста, пола водителя.

Большая часть исследований сосредоточена на изучении наездов на пешеходов в городских условиях. При этом аналогичные исследования на дорогах вне населенных пунктов являются необходимыми в связи с тем, что ДТП в таких местах отличаются большей тяжестью последствий. Это объясняется тем, что движение на более высокой скорости уменьшает время, необходимое для предупреждения аварии [13].

Выявление и понимание факторов, в том числе характеристик водителя, способствующих наездам на пешеходов может сыграть решающую роль в сокращении числа жертв среди пешеходов в авариях с помощью использования эффективных превентивных мероприятий, что приведет к повышению безопасности движения пешеходов [14]. В связи с этим важным направлением по снижению пешеходной смертности является углубленное изучение ДТП, связанных с наездами на пешеходов с использованием статистических методов [15].

Целью работы является частотная оценка характеристик водителей, совершивших наезд на пешехода на примере федеральных автомобильных дорог (ФАД) Алтайского края.

Материал и методы

Для исследования использованы сведения о наездах на пешеходов на ФАД Алтайского края произошедшие в период с 2018 по 2023 год.

Исходные данные представляли собой «карточки ДТП», полученные с официального сайта ГИБДД [16]. Для анализа создавалась таблица данных, включающая характеристики ДТП, водителей и транспортных средств (рис. 1).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Дата	Время	Адрес ДТП	Погибло	Ранено	Тип ТС	Пол водителя	Возраст	Непосредственные нарушения ПДД	Стаж(лет)	Опьянение
1											
2	22.12.2022	18:15	Барнаул - Ру	1	0	Легковые	мужской	49	Нарушение правил г	29	
3	13.10.2022	7:10	Чуйский трак	1	0	Фургоны	мужской	45	Не нарушал ПДД;	27	
4	04.10.2022	2:55	Чуйский трак	0	1	Седельнь	мужской	36	Не нарушал ПДД;	19	
5	27.09.2022	21:45	Чуйский трак	1	0	Легковые	мужской	32	Не нарушал ПДД;	13	
6	25.09.2022	21:40	Чуйский трак	0	1	Легковые	мужской	23	Не нарушал ПДД;	1	
7	25.09.2022	18:05	Чуйский трак	2	0	Седельнь	мужской	46	Несоответствие скор	21	
8	15.09.2022	22:50	Барнаул - Ру	1	0	Седельнь	мужской	48	Не нарушал ПДД;	30	
9	01.09.2022	11:10	Барнаул - Ру	1	0	Фургоны	мужской	58	Не нарушал ПДД;	40	
10	26.08.2022	10:45	Чуйский трак	0	2	Легковые	женский	34	Нарушение правил г	6	

Рисунок 1 – Фрагмент таблицы исходных данных

Для создания указанной таблицы обрабатывалась каждая карточка и все необходимые параметры вносились в таблицу. Всего проанализировано 158 ДТП.

Для определения взаимосвязи характеристик применен одномерный и двухмерный частотный анализ, выполненный с использованием программы Statistica.

Теория

Важной особенностью полученных данных, содержащих основные сведения о наезде и характеристики водителя, является значительная доля категориальных номинальных переменных. Среди количественных переменных большинство же представлены в виде дискретных. В связи с этим, требуется отбор применимых статистических методов анализа данных.

Одним из таких методов является анализ частот – одномерный анализ. С целью более наглядного представления таких данных можно использовать соответствующие гистограммы или таблицы. Это позволит сделать выводы на основе анализа распространенности в соответствующих группах.

Для анализа взаимосвязи дискретных и категориальных переменных необходимо проведение двухмерного или многомерного анализа (в случае множественной взаимосвязи). В качестве двухмерного часто используются таблицы сопряженности (кросстабуляции), которые отражают совместное распределение двух выбранных переменных (частот). Аналогичным представлением

распределения частот двух переменных является построение трехмерных гистограмм. Поскольку полученные категориальные переменные отличаются достаточно большим числом категорий более наглядным является представление частот в виде трехмерных гистограмм.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования применен одномерный частотный анализ. Проанализировано влияние одной из ведущих причин аварийности – состояние алкогольного опьянения. Выявлено, что доля таких ДТП составила менее 2 %. Важно отметить, что такая низкая доля может быть связана с частотой проведения профилактических мероприятий на ФАД, особенно вблизи крупных населенных пунктов, объектов сервиса, пешеходных переходов, где чаще всего отмечаются наезды на пешеходов. Также не выявлена взаимосвязь алкогольного опьянения с другими характеристиками: водители отличаются различным стажем, возрастом, типом управляемого ТС, а также произошли при различных внешних обстоятельствах (погодные условия, время суток, время года). Однако нельзя полностью исключать взаимосвязь данных характеристик, эти результаты могли быть вызваны малым количеством наблюдений (наезд на пешехода лицом в алкогольном опьянении).

Далее проведен анализ распределения водителей по полу, выявлено, что 81 % наездов на пешеходов осуществлены водителями-мужчинами. Распределение водителей по возрасту представлено на рисунке 2; наиболее распространенный возрастной период: от 28 до 36 лет.

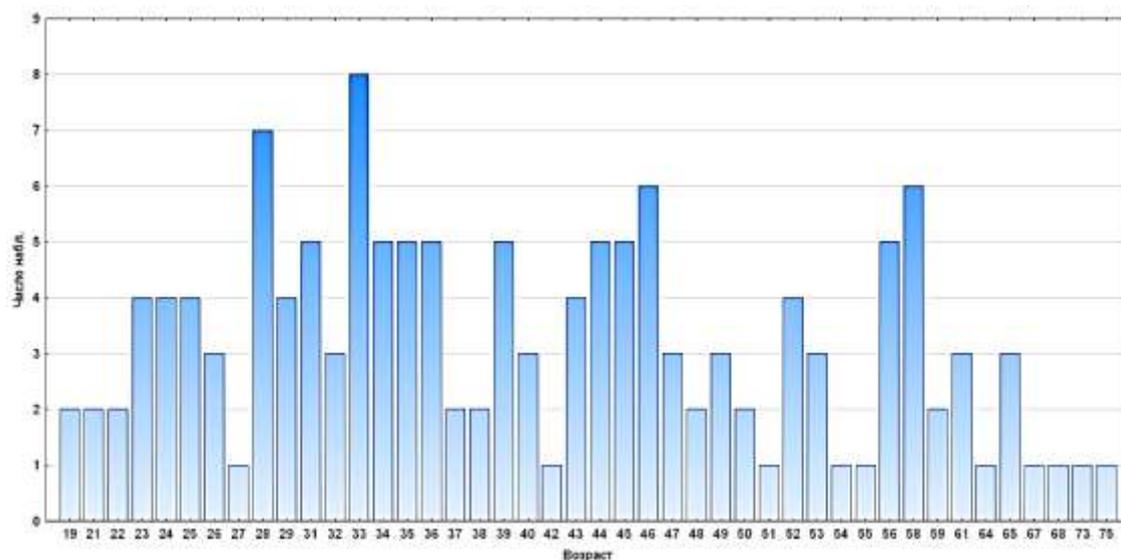


Рисунок 2 – Распределение водителей по возрасту

На рисунке 3 представлено распределение водителей по стажу вождения. Выявлено, что наиболее распространен стаж вождения составляющий 6 лет и 15-17 лет.

Одномерный анализ непосредственных нарушений ПДД показал, что более половины водителей не нарушали ПДД. Около 10% нарушили правила проезда пешеходного перехода и аналогичное значение приходится на несоответствие скорости конкретным условиям движения.

Далее проанализирована распространенность типов ТС. Более четверти ТС, участвующих в наездах на пешеходов являются легковые автомобили С-класса (26,93 %) и легковые автомобили В-класса (26,28 %), седельные тягачи (12,82 %). Высокая доля легковых ТС (всех видов суммарно 62 %) объясняется их большой долей в транспортном потоке. В отношении седельных тягачей отмечено, что в большинстве случаев (85 %) седельный тягач был сцеплен с полуприцепом, при этом доля таких ТС в потоке в среднем занимает менее 10 %, что свидетельствует о более высокой опасности ТС такого типа. Это может быть обусловлено меньшей маневренностью таких ТС: при неожиданном выходе пешехода на проезжую часть попытки изменения траектории движения ТС не позволяют избежать ДТП.

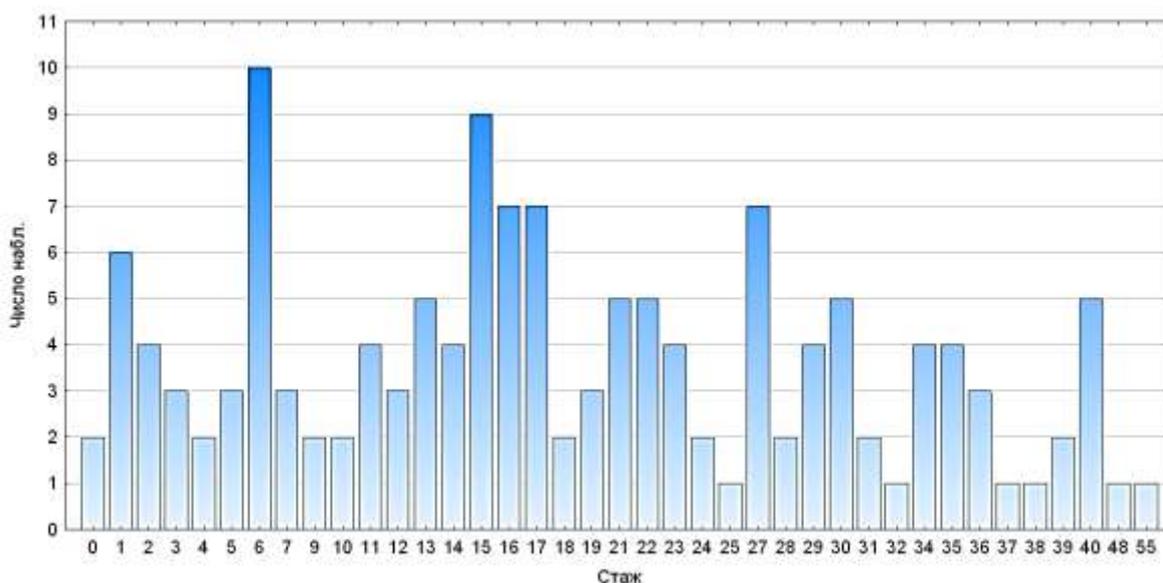


Рисунок 3 – Распределение водителей по стажу вождения

На следующем этапе проведен двухмерный и, в отдельных случаях, трехмерный частотный анализ характеристик водителя.

Оценено влияние совокупности стажа и возраста водителя на частоту наездов на пешеходов. На рисунке 4 представлена соответствующая трехмерная гистограмма, отражающая частоту наездов в зависимости от возраста и стажа. Выделены 3 группы риска: 1 – молодые водители в возрасте от 20 до 25 лет со стажем вождения до 5 лет; 2 – наиболее выраженная группа в возрастной группе от 30 до 35 лет со стажем вождения от 10 до 15 лет; 3 – опытные водители в возрасте от 45 до 50 лет и стажем вождения от 25 до 30 лет. Дополнительно проанализирован пол водителя с помощью трехмерного анализа, выявлено, что как среди женщин, так и среди мужчин сохраняются те же группы, таким образом отличия в частотном распределении возраста и стажа в зависимости от пола водителя нет. В целом выделенные группы подтверждают теорию о влиянии отдельных возрастных характеристик и стажа вождения на вероятность возникновения ДТП.

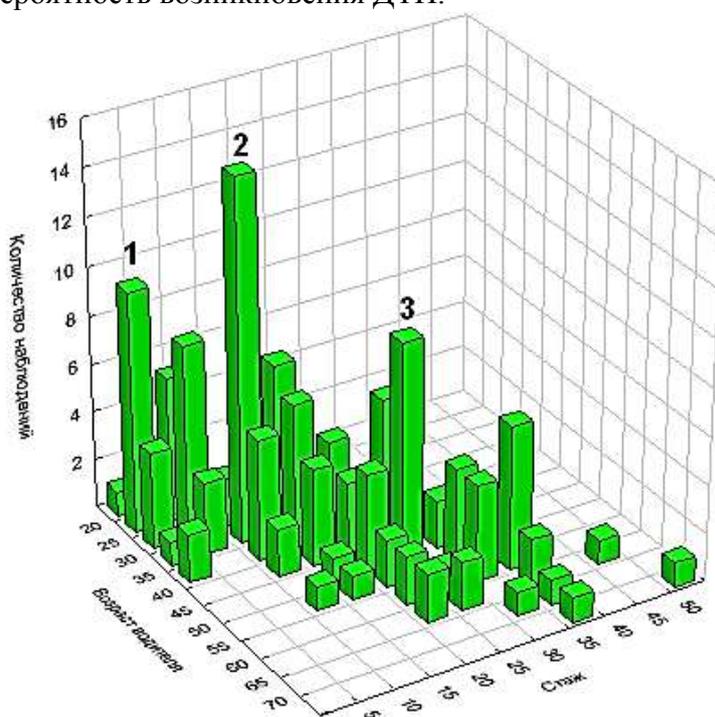


Рисунок 4 – Распределение водителей по стажу и возрасту

Проанализировано влияние взаимосвязи пары тип ТС – возраст водителя на частоту наездов на пешеходов (рис. 5).

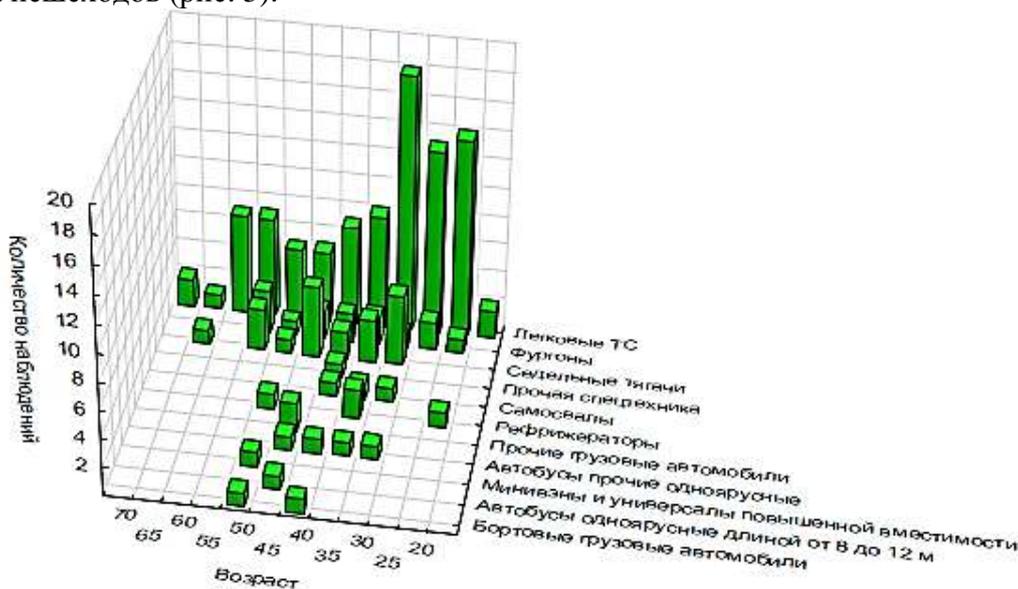


Рисунок 5 – Распределение водителей в соответствии с возрастом и типом управляемого ТС

Определено, что водители легковых ТС, совершивших наезд на пешехода в основном отличаются возрастом до 35 лет, в то время как большая часть водителей грузовых ТС, в том числе седельных тягачей находятся в возрасте от 30 до 60 лет. Также выявлено, что среди водителей женщин все управляли легковым ТС, и более 70 % из них входили в возрастную группу до 35 лет.

Аналогичные результаты получены при анализе стажа вождения: большинство водителей легковых ТС, совершивших наезд имеют стаж вождения до 15 лет, среди прочих (грузовых, автобусов, автопоездов) – от 15 до 35 лет. Практически все водители женщины (91 %) имели стаж вождения до 15 лет.

Проведен аналогичный двухмерный анализ среди водителей, нарушивших ПДД (ненарушавшие были исключены): проанализировано частотное распределение возраста водителя (рис. 6) и стажа (рис. 7).

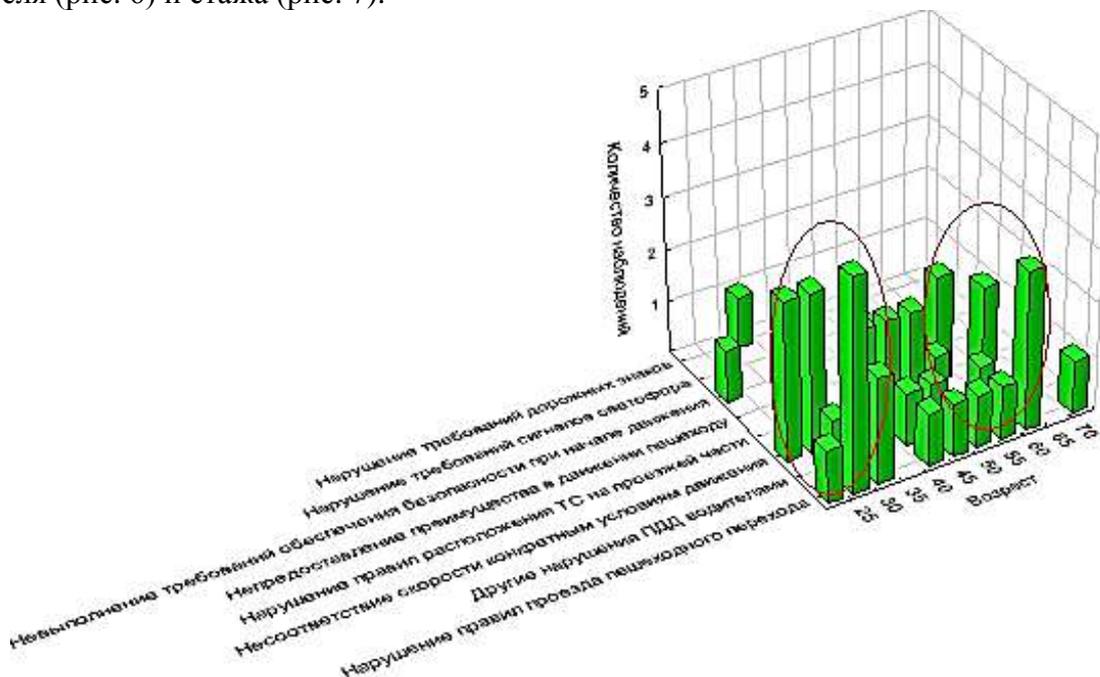


Рисунок 6 – Распределение водителей нарушивших ПДД по возрасту

В первом случае выделены 2 группы риска: молодые водители (до 30 лет) – основная часть случаев наездов, при которых отмечено непосредственное нарушение ПДД водителями, отмечается среди данной возрастной группы; также большое число аналогичных наездов отмечается среди водителей от 55 до 65 лет.

Во втором случае (рис. 7) результаты согласуются с предыдущими выводами: основная часть нарушителей приходится на группу водителей со стажем вождения до 10 лет, вторая группа – водители со стажем вождения от 25 до 30 лет.

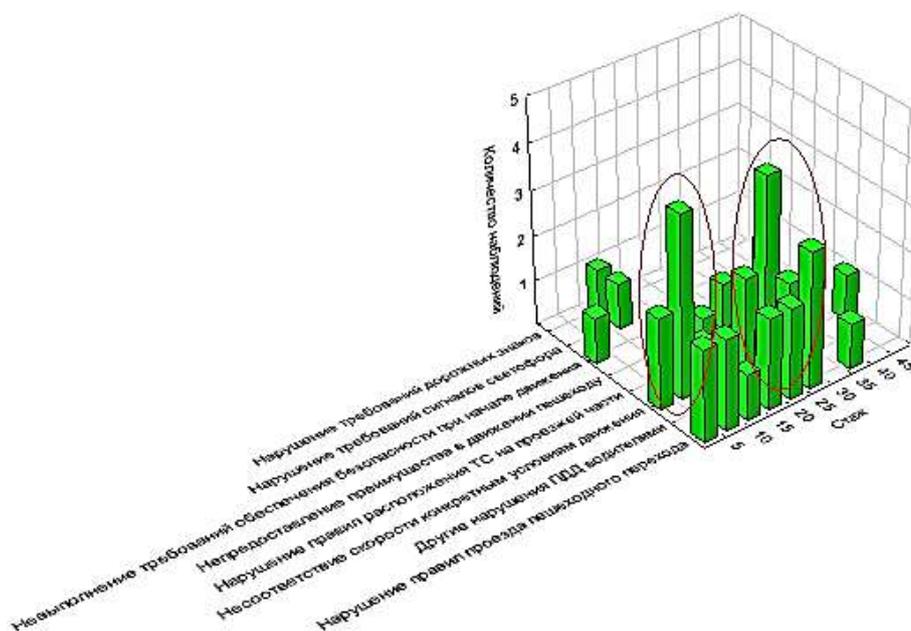


Рисунок 7 – Распределение водителей нарушивших ПДД по стажу

Таким образом, среди нарушителей ПДД отмечается та же тенденция, что и в основной группе в отношении молодых водителей с малым опытом вождения, однако в отношении опытных водителей (стаж вождения от 25 до 30 лет) фиксируется сдвиг в сторону большего возраста (55-65 лет), что может свидетельствовать о снижении внимательности водителей этого возраста при соблюдении ПДД при движении.

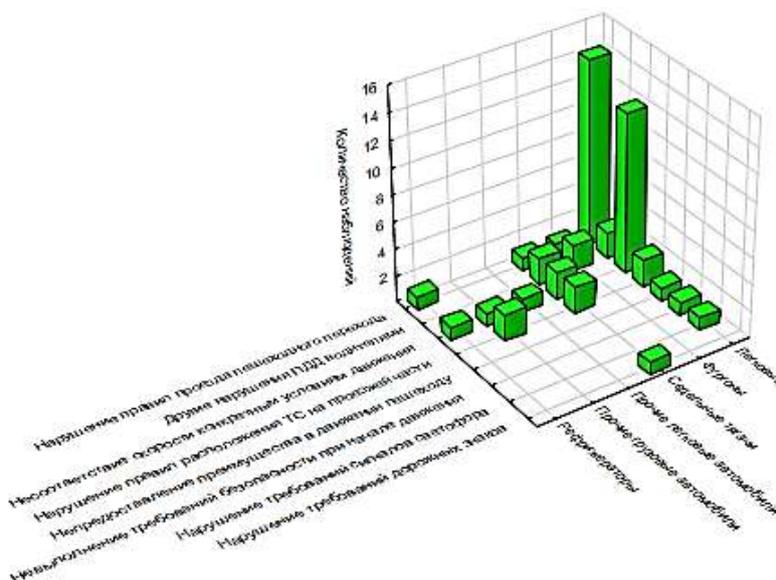


Рисунок 8 – Распределение водителей нарушивших ПДД по стажу

Проанализировано распределение ТС в рассматриваемой выборке (водителей, нарушивших ПДД). Выявлено, что доля легковых ТС (суммарно всех видов) составляет 67 %

(против 62 % в общей выборке), что свидетельствует о том, что водители легковых ТС чаще нарушают ПДД. На рисунке 8 представлено частотное распределение наездов на пешеходов в зависимости от типа ТС и нарушения ПДД водителем.

Определено, что водители легковых ТС нарушают правила проезда пешеходного перехода, в то время как водителями других типов ТС (седельные тягачи и пр.) чаще нарушают правила расположения ТС на проезжей части; выбор скорости несоответствующей конкретным условиям движения характерен для водителей любых типов ТС.

Выводы

Проведение одномерного и двухмерного анализа характеристик водителей, совершивших наезд на пешехода, а также управляемых ТС позволили выявить ряд закономерностей, связывающих эти параметры с частотой ДТП выбранного типа. Определено, что основная часть водителей являлись мужчинами, свыше 60 % наездов совершено легковыми ТС, около 13 % – седельными тягачами. Выделены три группы риска водителей согласно их возрасту, стажу: молодые водители (возраст 20 – 25 лет, стаж вождения до 5 лет); средняя группа (возраст 30 – 35 лет, стаж 10 – 15 лет); опытные водители (возраст 45 – 50 лет, стаж 25 – 30 лет). Найдены различия в распределении в зависимости от типа управляемого ТС: водители, совершившие наезд, управляя легковым ТС в основном отличаются возрастом до 35 лет и стажем до 15 лет, в то время как грузовыми – возрастом от 30 до 60 лет, стажем от 15 до 35 лет. Отмечено, что все женщины управляли легковыми ТС и отличаются характеристиками, соответствующими водителям легковых ТС.

Выявлено, что более половины водителей совершили наезд при отсутствии непосредственных нарушений ПДД. Проанализирована выборка, содержащая водителей, нарушивших ПДД (50 ДТП). Определено, что распределения по стажу и возрасту отличаются. В частности в группе риска также находятся молодые водители с малым опытом вождения, но в следующая группа отличается большим возрастом (55-65 лет, стаж вождения от 25 до 30 лет). Нарушения ПДД чаще фиксируются нарушения среди водителей легковых ТС (более молодых с меньшим опытом мужчин), в частности нарушения правил проезда пешеходного перехода. Среди водителей грузовых и прочих ТС (менее молодых с большим опытом мужчин) основным нарушением выступает несоблюдение правил расположения ТС на проезжей части. Несоответствие скорости характерно для водителей практически всех типов ТС.

Понимая частотное распределение наездов на пешеходов в зависимости от характеристик водителя, лица, принимающие решения, могут определить приоритетность мер безопасности в своих планах действий, в частности планировать профилактическую работу в группах риска. Более направленный подход к профилактической работе позволит снизить число наездов, тем самым сократить количество погибших и раненых на федеральных автомобильных дорогах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Malathy N., Kavi Priya, Saravanan K. Pedestrian safety system with crash prediction // International journal of health sciences. 2022. DOI: 10.53730/ijhs.v6nS2.7247.
2. Yanmo Weng, Subasish Das, Stephanie Paal. Applying Few-Shot Learning in Classifying Pedestrian Crash Typing // Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2023. 2677. DOI: 10.1177/03611981231157393.
3. Ishani Dias, Dulaj Wickramarachchi Analysing Pedestrian Safety in School Zones Based on Behaviour Risk // Engineer - Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka. 2021. DOI: 54. 25-35. 10.4038/engineer.v54i4.7468.
4. Печатнова Е.В., Новиков И.А., Кирюшин И.И., Шаталов Е.В. Влияние периода суток на риск возникновения наезда на пешехода // Воронежский научно-технический Вестник. 2023. Т. 3. №3(45). С. 60-66. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-3-3-60-66.
5. Suji Kim, Kitae Jang, Sungjin Park 'Safety in Numbers' for Walkers: Effects of Pedestrian Volume on Per-Pedestrian Crash Rate and Severe Injury Probability // Sustainability. 2023. 15. 10027. DOI: 10.3390/su151310027.
6. Sia Mwende, Valerian Kwigizile, Jun-Seok Oh, Van Houten Ron. Investigating Racial and Poverty-Level Disparities Associated with Pedestrian Nighttime Crashes // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2024. DOI: 10.1177/03611981241233294.
7. Sanjida Iqra, Armana Huq, Sabah Hossain Iqra Factors Influencing Pedestrian Crashes in Dhaka City: A Multiple Correspondence Analysis Approach // 6th International Conference on Advances in Civil Engineering (ICACE-2022)At: CUET, Chattogram, Bangladesh. 2024. DOI: 10.1007/978-981-99-3826-1_17.
8. Seung-Hoon Park, Min-Kyung Bae. Exploring the Determinants of the Severity of Pedestrian Injuries by Pedestrian Age: A Case Study of Daegu Metropolitan City, South Korea // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. DOI: 17. 2358. 10.3390/ijerph17072358.

9. Seunghoon Park, Dongwon Ko A Multilevel Model Approach for Investigating Individual Accident Characteristics and Neighborhood Environment Characteristics Affecting Pedestrian-Vehicle Crashes // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. 17. 3107. DOI: 10.3390/ijerph17093107.
10. Swarup Santhi, Gamachu Busa Evaluation of the influencing factors and causes of pedestrian crashes at both intersections and along roadways using Regression Analysis: A case of Nekemte, Ethiopia // Journal of emerging technologies and innovative research (JETIR). 2024. Volume 11. Issue 2. p. 225-234.
11. Eladio Jiménez-Mejías, Virginia Martínez-Ruiz, Carmen Amezcua-Prieto, Rocío Olmedo-Requena, JD Luna, Pablo Lardelli-Claret Pedestrian- and driver-related factors associated with the risk of causing collisions involving pedestrians in Spain // Accident Analysis & Prevention. 2016. 92. 211-218. DOI: 10.1016/j.aap.2016.03.021.
12. María Onieva-García, Virginia Martínez-Ruiz, Pablo Lardelli-Claret, José Jiménez-Moleón, Carmen Amezcua-Prieto, JD Luna, Eladio Jiménez-Mejías Gender and age differences in components of traffic-related pedestrian death rates: exposure, risk of crash and fatality rate // Injury Epidemiology. 2016. 3. DOI: 10.1186/s40621-016-0079-2.
13. Ahmed Hossain, Xiaoduan Sun, Niaz Zafri, Julius Codjoe Investigating Pedestrian Crash Patterns at High-speed Intersection and Road Segments: Findings from the unsupervised learning algorithm // International Journal of Transportation Science and Technology. 2023. DOI: 10.1016/j.ijtst.2023.04.007.
14. Amir Rafe, Mohammad Ali Arman, Patrick Singleton An In-depth Investigation into Factors Influencing Pedestrian Crash Severity: Comparative Analysis of Ordered Probit, Stacking Ensemble Model, and TabNet. // Conference: Transportation Research Board 103rd Annual Meeting Transportation Research BoardAt: Washington DC, United States. 2024.
15. Lishengsa Yue, Mohamed Abdel-Aty, Yina Wu, Ou Zheng, Jinghui Yuan In-depth approach for identifying crash causation patterns and its implications for pedestrian crash prevention // Journal of Safety Research. 2020. 73. DOI: 10.1016/j.jsr.2020.02.020.
16. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] / Госавтоинспекция: [сайт]. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.

Печатнова Елена Владимировна

БЮИ МВД России

Адрес: 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Чкалова, д. 49

К.т.н., доцент кафедры «Информатика и специальная техника»

E-mail: phukcia@yandex.ru

Новиков Иван Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Д.т.н., профессор, директор Транспортно-технологического института

E-mail: ooows@mail.ru

Павлов Сергей Николаевич

АлтГТУ им. И.И. Ползунова

Адрес: 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Ленина, д. 46

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

E-mail: sergei_pavl@mail.ru

Еськов Александр Васильевич

КРУ МВД России

Адрес: 350005, Россия, г. Краснодар, ул. Ярославская, д. 128

Д.т.н., профессор, начальник кафедры «Информационной безопасности»

E-mail: alesc72@mail.ru

E.V. PECHATNOVA, I.A. NOVIKOV, S.N. PAVLOV, A.V. ESKOV

FREQUENCY ASSESSMENT OF DRIVER CHARACTERISTICS IN PEDESTRIAN CRASHES

Abstract. *Pedestrian crashes on federal motorhighways are a pressing problem due to the fact that this category of traffic participants is the most vulnerable and such accidents are characterized by high severity of consequences. A large number of Russian and foreign studies contain conclusions about the significant influence of driver characteristics on the frequency of collisions with pedestrians, but the bulk of the work is focused on analysis within urban conditions. The article presents the results of a frequency assessment of the characteristics of a driver who hit a pedestrian using the example of federal highways (FH) of the Altai Territory. The following driver parameters were analyzed: age, length of service, gender of the driver, type of vehicle, type of traffic violation. The main features of the characteristics of the driver who hit a pedestrian on the highway of the Altai Territory were identified using one-dimensional and two-dimensional frequency analysis. The findings can be used to develop effective preventive measures to improve driving culture and prevent dangerous and risky behavior in risk groups.*

Keywords: *pedestrian crashes, two-dimensional analysis, driver characteristics, federal highways, frequency estimation*

BIBLIOGRAPHY

1. Malathy N., Kavi Priya, Saravanan K. Pedestrian safety system with crash prediction // International journal of health sciences. 2022. DOI: 10.53730/ijhs.v6nS2.7247.
2. Yanmo Weng, Subasish Das, Stephanie Paal. Applying Few-Shot Learning in Classifying Pedestrian Crash Typing // Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2023. 2677. DOI: 10.1177/03611981231157393.
3. Ishani Dias, Dulaj Wickramarachchi Analysing Pedestrian Safety in School Zones Based on Behaviour Risk // Engineer - Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka. 2021. DOI: 54. 25-35. 10.4038/engineer.v54i4.7468.
4. Pechatnova E.V., Novikov I.A., Kiryushin I.I., Shatalov E.V. Vliyanie perioda sutok na risk voz-niknoveniya naezda na peshekhoda // Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii Vestnik. 2023. T. 3. №3(45). S. 60-66. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-3-3-60-66.
5. Suji Kim, Kitae Jang, Sungjin Park 'Safety in Numbers' for Walkers: Effects of Pedestrian Volume on Per-Pedestrian Crash Rate and Severe Injury Probability // Sustainability. 2023. 15. 10027. DOI: 10.3390/su151310027.
6. Sia Mwendu, Valerian Kwigizile, Jun-Seok Oh, Van Houten Ron. Investigating Racial and Poverty-Level Disparities Associated with Pedestrian Nighttime Crashes // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2024. DOI: 10.1177/03611981241233294.
7. Sanjida Iqra, Armana Huq, Sabah Hossain Iqra Factors Influencing Pedestrian Crashes in Dhaka City: A Multiple Correspondence Analysis Approach // 6th International Conference on Advances in Civil Engineering (ICACE-2022)At: CUET, Chattogram, Bangladesh. 2024. DOI: 10.1007/978-981-99-3826-1_17.
8. Seung-Hoon Park, Min-Kyung Bae. Exploring the Determinants of the Severity of Pedestrian Injuries by Pe-destrian Age: A Case Study of Daegu Metropolitan City, South Korea // International Journal of Environmental Re-search and Public Health. 2020. DOI: 17. 2358. 10.3390/ijerph17072358.
9. Seunghoon Park, Dongwon Ko A Multilevel Model Approach for Investigating Individual Accident Charac-teristics and Neighborhood Environment Characteristics Affecting Pedestrian-Vehicle Crashes // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. 17. 3107. DOI: 10.3390/ijerph17093107.
10. Swarup Santhi, Gamachu Busa Evaluation of the influencing factors and causes of pedestrian crashes at both intersections and along roadways using Regression Analysis: A case of Nekemte, Ethiopia // Journal of emerging technologies and innovative research (JETIR). 2024. Volume 11. Issue 2. p. 225-234.
11. Eladio Jimnez-Mejas, Virginia Mart?nez-Ruiz, Carmen Amezcua-Prieto, Roco Olmedo-Requena, JD Luna, Pablo Lardelli-Claret Pedestrian- and driver-related factors associated with the risk of causing collisions involving pe-destrians in Spain // Accident Analysis & Prevention. 2016. 92. 211-218. DOI: 10.1016/j.aap.2016.03.021.
12. Mara Onieva-Garca, Virginia Martinez-Ruiz, Pablo Lardelli-Claret, Jos Jimnez-Molen, Carmen Amezcua-Prieto, JD Luna, Eladio Jimnez-Mejas Gender and age differences in components of traffic-related pedestrian death rates: exposure, risk of crash and fatality rate // Injury Epidemiology. 2016. 3. DOI: 10.1186/s40621-016-0079-2.
13. Ahmed Hossain, Xiaoduan Sun, Niaz Zafri, Julius Codjoe Investigating Pedestrian Crash Patterns at High-speed Intersection and Road Segments: Findings from the unsupervised learning algorithm // International Journal of Transportation Science and Technology. 2023. DOI: 10.1016/j.ijtst.2023.04.007.
14. Amir Rafe, Mohammad Ali Arman, Patrick Singleton An In-depth Investigation into Factors Influencing Pedestrian Crash Severity: Comparative Analysis of Ordered Probit, Stacking Ensemble Model, and TabNet. // Confer-ence: Transportation Research Board 103rd Annual Meeting Transportation Research BoardAt: Washington DC, Unit-ed States. 2024.
15. Lishengsa Yue, Mohamed Abdel-Aty, Yina Wu, Ou Zheng, Jinghui Yuan In-depth approach for identify-ing crash causation patterns and its implications for pedestrian crash prevention // Journal of Safety Research. 2020. 73. DOI: 10.1016/j.jsr.2020.02.020.
16. Svedeniya o pokazatelyakh sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs] / Gos-avtoinspektsiya: [sayt]. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.

Pechatnova Elena Vladimirovna

Barnaul Law Institute of the Ministry
of Internal Affairs of Russia Federation
Address: 656038, Russia, Barnaul, Chkalova, 49
Candidate of technical sciences
E-mail: phukcia@yandex.ru

Novikov Ivan Alekseevich

Belgorod State Technological University
308012, Belgorod, Russia, Kostyukova 46
Doctor of technical sciences
E-mail: ooows@mail.ru

Pavlov Sergey Nikolaevich

Polzunov Altai State Technical University
Address: 656038, Russia, Barnaul, Lenina 46
Candidate of technical sciences
E-mail: sergei_pavl@mail.ru

Eskov Alexander Vasilevich

Krasnodar University of the Ministry
of Internal Affairs of the Russian Federation
Address: 35000, Russia, Krasnodar, Yaroslavskaaya, 128
Doctor of technical sciences
E-mail: alesc72@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 001.895:625.7

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-107-114

Н.А. ЗАГОРОДНИЙ, М.В. ГОЛОВКИН

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СФЕРЕ МОНИТОРИНГА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Аннотация. В данной статье проводится исследование методов использования беспилотных летательных аппаратов в сфере мониторинга дорожного движения, цель которого – изучение существующих эффективных методов мониторинга транспортных потоков с применением беспилотных летательных аппаратов для повышения безопасности дорожного движения. В статье рассматриваются существующие критерии классификации мониторинговых систем. Главная задача исследования заключается в изучении наиболее эффективных методов применения беспилотных летательных аппаратов в сфере мониторинга транспортного движения с целью снижения аварийности на автомобильных дорогах, практики их применения. В статье также представлена схема и описание предлагаемой системы мониторинга с использованием беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: мониторинг дорожного движения, фиксация нарушений, безопасность движения, беспилотный летательный аппарат, методы использования

Введение

Цель исследования заключается в определении эффективного метода использования беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в сфере мониторинга транспортных потоков. Объектом изучения в данной статье выступают существующие методы использования БЛА в сфере мониторинга транспортных потоков. Главная задача исследования заключается в изучении наиболее эффективных методов применения БЛА в сфере мониторинга транспортного движения с целью снижения аварийности на автомобильных дорогах. Представленные методы позволят рассмотреть актуальность их применения на практике и на основе их разработать собственную систему мониторинга транспортных потоков, которая позволит не только вести наблюдение за движением транспортных средств, но и фиксировать различные типы нарушений, включая превышение скорости.

В настоящее время, с развитием техники и электроники, на автомобильных дорогах появляется все большее количество камер видеонаблюдения и фиксации нарушений правил дорожного движения [1-3]. В качестве эксперимента, для мониторинга дорожного движения, начинают использовать БЛА. В связи с тем, что стационарные камеры не позволяют оперативно отслеживать дорожную обстановку в какой-то определенный момент времени и своевременно передавать данные, исследование о методах использования БЛА в сфере дорожного движения является актуальным. Производители БЛА с каждым годом предлагают все более современные модели, оснащенные качественной видеокамерой, позволяющей не только видеть транспортные средства с большой высоты, а также распознавать их государственный регистрационный знак (ГРЗ). Программное обеспечение, поставляемое заводом изготовителем, позволяет полностью контролировать БЛА и управлять им с помощью любого смартфона или планшета. Благодаря современным информационным технологиям мониторинг дорожного движения становится все более эффективным и способствует развитию транспортной инфраструктуры [4, 5].

Материал и методы

Для проведения исследования были рассмотрены и проанализированы существующие методы использования БЛА в сфере дорожного движения. Каждый из методов составляет определенную комбинацию критериев, позволяющих оценить эффективность всей системы в целом. Были выделены основные критерии:

- тип управления;
- способ обработки и передачи данных;
- оборудование для фиксации и мониторинга, которым оснащается БЛА (лазерные дальномеры, лидар, радар);
- оборудование для позиционирования БЛА в пространстве (датчики углов поворота камеры, датчики тангажа и крена, GPS модуль, стабилизатор для видеокамеры).

На основе представленных критериев выполнено сравнение методов использования БЛА и сделаны соответствующие выводы об эффективности каждого из методов. На основе сделанных выводов в качестве практической реализации была разработана система мониторинга транспортных потоков на базе БЛА, позволяющая контролировать дорожную обстановку в режиме реального времени, выявлять нарушения правил дорожного движения, в том числе превышение скоростного режима. Практическое применение данной системы позволит повысить безопасность дорожного движения и откроет перспективу для дальнейшего развития аппаратно-программных комплексов на базе БЛА.

Теория

На момент исследования существуют различные методы использования БЛА. Каждый метод состоит из определенного набора соответствующих критериев. В качестве основных критериев рассматривается способ управления БЛА, способ обработки и передачи данных, оборудование для фиксации и мониторинга, оборудование для позиционирования БЛА в пространстве [6-8].

Существует несколько способов управления БЛА. Одним из самых простых способов управления является ручное. Оператор с помощью специального пульта с использованием радиосигнала управляет БЛА. В данном случае оператор должен обладать специальными навыками управления и полностью контролировать движение БЛА.

С развитием информационных технологий стал применяться программный способ управления [9]. Оператор в специальной программе создает план полета, учитывая такие данные, как высоту, скорость полета, GPS координаты начальной, конечной и промежуточных точек [10].

Разновидностью программного способа управления является управление с помощью алгоритма искусственного интеллекта. Данный способ управления применяется в тех случаях, когда необходимо отслеживать какой-либо объект и осуществлять движение за ним. На БЛА с таким типом управления обязательно должны быть установлены следующие устройства: GPS модуль, лидар, камера видеонаблюдения, датчики позиционирования в пространстве, вычислительный модуль. Совокупность данных устройств, установленных на БЛА, позволит точно определить его местоположение, обнаружить препятствия и расстояние до него, а также производить вычисления в режиме реального времени. Это необходимо для выполнения безопасного полета в воздушном пространстве с использованием системы искусственного интеллекта.

Еще одним способом управления БЛА является управление на основе геодезических данных. Оператор в программе заранее указывает координаты точек в пространстве. По данным точкам строится маршрут движения и выполняются маневры [11, 12].

По местоположению оператора управление классифицируется на местное и удаленное. При местном управлении оператор БЛА может находиться в непосредственной близости к устройству и управлять им с помощью пульта дистанционного управления, либо находится в мобильной станции на базе автомобиля, оснащенной компьютерами и мониторами для наблюдения за полетом. При удаленном управлении оператор БЛА находится в центральном офисе. Связь между оператором и БЛА осуществляется за счет использования сотовых сетей 4G.

Каждый из способов управления имеет свои преимущества и недостатки. Например, ручной способ требует от оператора высоких навыков управления. Плохая подготовка оператора может привести к столкновению БЛА с любым препятствием. По сравнению с другими способами управления он не требует установки дорогого оборудования на летательный аппарат и является более простым. Автоматизированный способ управления БЛА с использо-

ванием искусственного интеллекта требует установки дорогостоящего оборудования (лидар, сенсоры, вычислительный модуль, высококачественные камеры). В отличие от ручного позволяет выполнять захват движущихся объектов, анализировать обстановку в воздухе, выполнять наблюдение и полет за объектом. Также с его помощью можно выполнять различные задачи, связанные с мониторингом транспортного движения [13-15].

Рассмотрим способы передачи и обработки данных. Данные, полученные с использованием БЛА могут обрабатываться на самом устройстве с помощью вычислительного модуля. Данный способ позволяет в реальном времени обрабатывать большой поток информации и анализировать дорожную обстановку. На основе анализа информации принимать решение о движении за транспортным средством с целью видеофиксации его правонарушения и фиксации ГРЗ. Полученный материал может быть отправлен на базовую станцию для дальнейшего анализа [16].

Данные также могут обрабатываться в пункте управления БЛА (мобильная станция). Поток информации передается с БЛА на компьютер в мобильной станции, где происходит обработка данных с помощью специальных программ. Также обработка данных может происходить в специальном центре по обработке данных (ЦОД). В данном случае БЛА передает информацию через интернет в ЦОД, где с использованием информационных технологий обрабатывается видеопоток и анализируется дорожная обстановка.

Способов передачи данных существует несколько: беспроводной способ, проводной, с использованием носителей информации. В качестве беспроводного способа используются технологии wifi, 4G, радиосвязи, облачная передача данных. Данный способ удобен тем, что данные передаются через интернет без использования прямого подключения. Технологии облачных хранилищ позволяют получить данные оператором из любой точки. Недостатком данного способа передачи данных может быть плохой уровень сигнала. В таком случае данные будут отправляться слишком долго [17, 18].

Проводной способ подключения через LAN кабель позволяет мгновенно передавать данные с большой скоростью, но на небольшом расстоянии от местоположения оператора.

Использование носителей информации, таких как usb и sd карты, позволяют записывать данные на ограниченный объем карты памяти. Просмотр данных и их обработка возможна лишь после посадки БЛА и извлечения накопителя, что занимает много времени.

В зависимости от предназначения БЛА могут оснащаться различным оборудованием для мониторинга транспортных потоков. Например, для наблюдения за движением транспортных средств применяются инфракрасные датчики и видеокамеры. Для определения расстояния до движущегося автомобиля и вычисления скорости могут быть использованы радар и лидар. Лидар также используется для построения рельефа окружающей местности и определяет расстояние до препятствия. Применение GPS модуля позволяет не только установить точное местоположение БЛА, но и местоположение и траекторию движения автомобилей. Лазерный дальномер позволяет точно определять высоту полета и расстояние до движущегося автомобиля.

Для позиционирования БЛА в пространстве используются такие устройства, как: GPS-приемник, инерциальная навигационная система (ИНС), компас, датчики крена и тангажа. Для качественной видеозаписи с БЛА используются датчики углов поворота видеокамеры в горизонтальной и вертикальной плоскости, стабилизатор для камеры. Инерциальная навигационная система позволяет определить ускорение, угловую скорость и местонахождение БЛА при плохом уровне сигнала от GPS приемника. Установленный компас определяет направление полета. Датчики крена и тангажа передают информацию на вычислительный модуль о положении БЛА в пространстве, что позволяет оператору корректировать его движение. Вычислительный модуль, установленный на БЛА, считывает показания всех датчиков и устройств, что позволяет оператору полностью контролировать полет, вести съемку и оповещать об опасностях [19, 20].

Применение комбинации из нескольких рассмотренных критериев на одном аппаратно-программном комплексе (АПК) выявит определенный метод использования БЛА для мо-

мониторинга дорожного движения. Каждый из методов должен применяться в соответствии с поставленной целью и задачами.

В качестве практической реализации было принято решение разработать систему мониторинга транспортных потоков на базе БЛА. Для ускорения процесса разработки и удешевления конструкции выбран режим постоянного пилотирования БЛА оператором. Для управления и проведения мониторинга будет использоваться мобильная станция с заранее установленным программным обеспечением. Беспилотный летательный аппарат будет передавать данные на мобильную станцию без предварительной обработки. Обработка данных на БЛА требует размещения вычислительного оборудования повышенной мощности, что снижает время его работы и радиус применения. Вычислительное оборудование для обработки данных располагается в мобильной станции. Беспилотный летательный аппарат оснащен качественной видеокамерой с разрешением видеозаписи 2160р. Это позволит производить не только детекцию автомобилей, но и фиксацию ГРЗ. Видеокамера имеет небольшую массу и оптимальную стоимость по соотношению с другими устройствами.

Структура проекта состоит из трех основных блоков: центральный сервер, мобильная станция и беспилотный летательный аппарат (рис. 1).

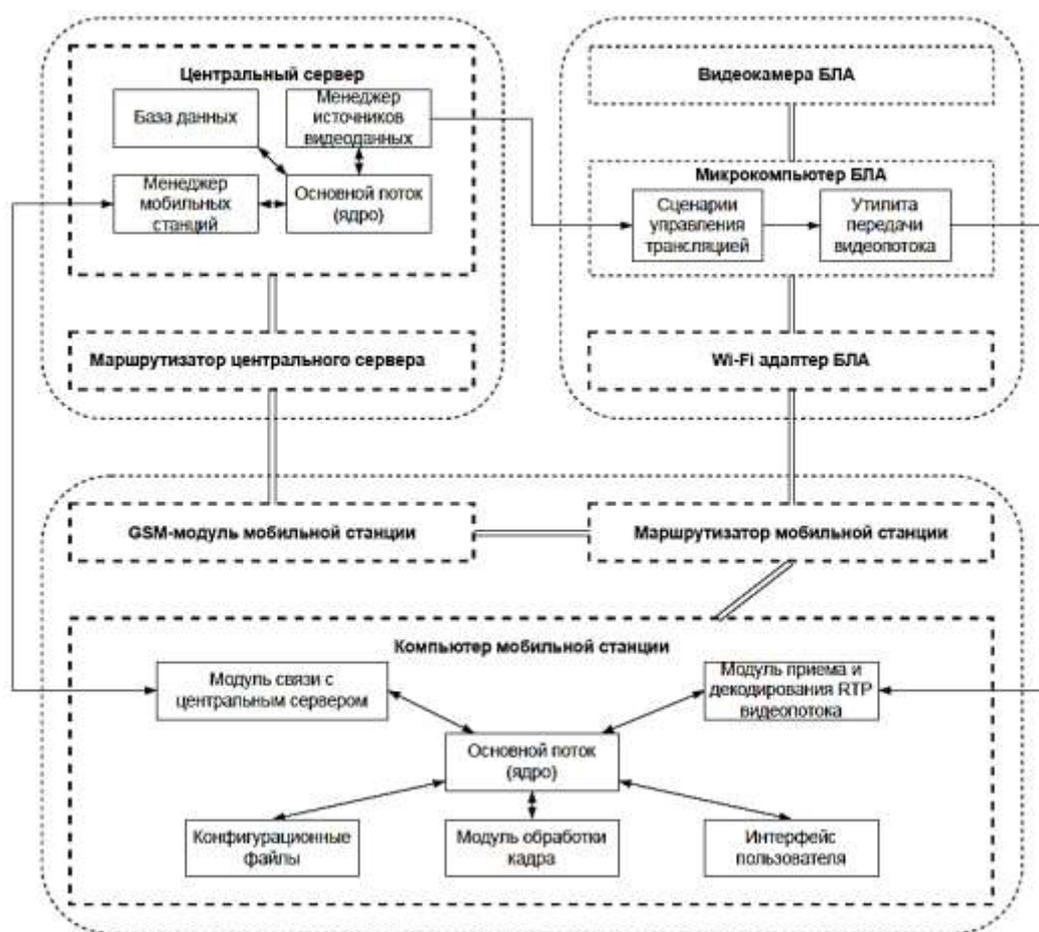


Рисунок 1- Структурная схема предлагаемого проекта

Центральный сервер включает в себя следующие модули: база данных, менеджер источников видеоданных, менеджер мобильных станций, маршрутизатор.

Мобильная станция включает в себя: модуль связи с центральным сервером, модуль приема и декодирования RTP видеопотока, модуль обработки видеок кадров, интерфейс пользователя, конфигурационные файлы, GSM модуль сотовой связи и маршрутизатор.

Беспилотный летательный аппарат (БЛА) включает в себя: видеокамера, микрокомпьютер БЛА, wifi адаптер.

Основное назначение центрального сервера- накопление и хранение фактов фиксации нарушений скоростного режима. Основные задачи:

- работа с базой данных;
- управление подключениями и обмен данными с мобильными станциями;
- хранение пула видеоисточников и удаленное управление передачей видеопотока.

Программное обеспечение (ПО) центрального сервера представляет собой работающий в фоновом режиме процесс, не имеющий непосредственного интерфейса взаимодействия с пользователем. Все взаимодействие осуществляется при помощи сетевого подключения к тому экземпляру ПО мобильной станции, с которого данный сервер был создан и у которого есть право администрирования данного сервера. ПО центрального сервера находится в постоянном ожидании новых подключений как мобильных станций, так и микрокомпьютеров БЛА.

Основное назначение мобильной станции- прием и обработка видеопотока с БЛА, передача зафиксированных фактов нарушения на центральный сервер, предоставление оператору удобный интерфейс управления системой. Основные задачи:

- взаимодействие с оператором системы через графический интерфейс;
- установление соединения с центральным сервером;
- двухсторонний обмен данными с центральным сервером: отправка и прием фактов фиксации, данных о видеоисточниках, геометрических параметров сцены;
- отправка запроса центральному серверу на запуск трансляции с одного из доступных видеоисточников;
- ожидание и прием RTP видеопотока, декодирование;
- настройка геометрических параметров сцены;
- пок кадровый анализ видеопоследовательности с учетом текущих геометрических параметров сцены;
- внесение корректировок в текущие геометрические параметры сцены с целью компенсации произвольных перемещений БЛА;
- сохранение и последующее восстановление из локальных конфигурационных файлов состояния рабочей сессии.

Программное обеспечение мобильной станции представляет собой настольное приложение с графическим интерфейсом. Оператору мобильной станции при первом запуске необходимо настроить подключение к центральному серверу, а при его отсутствии запустить аналогичное ПО локально, и подключиться к нему. Затем выбрать один из доступных источников видеоданных и отправить запрос на запуск трансляции из данного видеоисточника на свой адрес. Затем выбрать одну из созданных ранее или создать новую конфигурацию геометрических параметров сцены, установить ее текущей и запустить обработку и анализ видеопотока. Когда работа будет завершена, необходимо отправить запрос на остановку трансляции и отключиться от центрального сервера (или его локального аналога).

Основное назначение БЛА- передавать видеопоток на мобильную станцию под управлением центрального сервера. Основные задачи:

- устанавливает соединение с центральным сервером сразу после запуска;
- по команде центрального сервера запускать и останавливать трансляцию RTP видеопотока на заданный адрес.

Аппаратно-программная платформа БЛА выполнена по принципу максимального упрощения. Для нее не предусмотрено специализированное ПО, только некоторые предварительно сконфигурированные сценарии, задача которых, во-первых, отправить запрос на установление соединения с заранее заданным центральным сервером, предоставив все необходимые данные для установления такого подключения, во-вторых, запускать и останавливать трансляцию RTP видеопотока по команде центрального сервера [21].

Разработанное программное обеспечение для мобильной станции позволит осуществлять дорожный мониторинг и выявлять нарушения, в том числе, превышение скорости. При определении скорости будут учитываться корректирующие коэффициенты, учитывающие перемещение БЛА в пространстве в зависимости от погодных условий.

Результаты

В результате исследования в сфере существующих методов мониторинга транспортных потоков были выделены несколько критериев классификации мониторинговых систем: способ управления БЛА, способ обработки и передачи данных, оборудование для фиксации и мониторинга, оборудование для позиционирования БЛА в пространстве. Применение одного или нескольких критериев выделяют определенный метод мониторинга. На основании существующих методов был разработан метод для практической реализации. Он заключается в использовании на БЛА видеокамеры для мониторинга движения, применении мобильной станции в качестве связующего звена между БЛА и центральной системой управления, передаче данных на мобильную станцию без предварительной обработки данных, а также использование ручного способа управления для удешевления конструкции. На основе сравнения существующих методов применения БЛА был выбран более оптимальный вариант и разработано программное обеспечение для мониторинга транспортных потоков и фиксации нарушений скоростного режима.

Обсуждение

Реализация предложенной системы позволит выполнять мониторинг дорожного движения на предмет нарушения скоростного режима на любых участках дорог с применением выездной мобильной станции в радиусе действия БЛА и без непосредственного нахождения на исследуемом участке дороги. Ожидается получение данных о скорости движения транспортных средств достаточной точности для использования их при составлении протокола об административном правонарушении. Основным преимуществом данного метода контроля является его непредсказуемость для водителей, что повлечет за собой более ответственное отношение к соблюдению требований правил дорожного движения и снижению аварийности. Итоговым результатом исследования является аргументация необходимости развития ИТС в Российской Федерации.

Выводы

В России правовое регулирование вопросов использования беспилотных летательных аппаратов для фиксации нарушений правил дорожного движения осуществляется на уровне федерального законодательства. Согласно статье 3.33 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях, фиксация нарушений правил дорожного движения может осуществляться с использованием технических средств, в том числе беспилотных летательных аппаратов.

Не существует явных ограничений для использования беспилотных летательных аппаратов для фиксации транспортных средств и их ГРЗ, если это не касается нарушения прав человека на конфиденциальность или законов, регламентирующих конкретный регион.

Однако, на текущий момент в законодательной базе нет четких требований по использованию БЛА и положений об ответственности, в случае возникновения дорожно-транспортного происшествия, возникшего по вине оператора БЛА, либо повреждении имущества человека, а также вреда здоровью в случае крушения БЛА. Проблемы правового регулирования остаются актуальными на сегодняшний день.

Внедрение практики применения БЛА, как часть интеллектуальной транспортной системы (ИТС), позволит оперативно выявлять и пресекать грубые нарушения водителей транспортных средств, развивать транспортную инфраструктуру, снижать аварийность на автомобильных дорогах.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев А.В., Сидоров А.А. Беспилотные летательные аппараты: применение в сфере обеспечения безопасности и контроля дорожного движения // Транспорт и экология. 2017. Т. 11. №1. С. 74-80.
2. Огнев В.А., Смирнов Д.М. Применение беспилотных летательных аппаратов в контроле за движением транспорта: достоинства и проблемы // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного

технического университета. 2018. №1. С. 116-123.

3. Смородинов М.Ю. Использование беспилотных летательных аппаратов для фиксации нарушений ПДД // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер.: Экономическая наука. 2019. Т. 10. №2. С. 235-241.

4. Яковлев В.Д., Шестаков Д.А. Универсальный беспилотный летательный аппарат комбинированного типа и его применение для мониторинга дорожной обстановки и профилактики нарушения правил дорожного движения // Беспилотные воздушные суда государственной авиации. 2023. С. 106-111.

5. Сухарев Н.В. Система слежения за автомобильным транспортом на базе беспилотных летательных аппаратов с применением технологии радиочастотной идентификации и камер инфракрасного диапазона // Автоматика на транспорте. 2023. Т. 9. №2. С. 141-152.

6. Феофилова А.А., Капула А.С. Беспилотные летательные аппараты в сфере организации дорожного движения с применением ИТС // Модернизация сферы образования и науки с учетом мировых научно-технологических трендов. 2020. С. 39-43.

7. Семенова Е.Д., Долженко К.М. Особенности транспортного потока в условиях развития городской агломерации // Современные автомобильные материалы и технологии (Самит-2020): материалы международной научно-технической конференции. 2020. С.324-327.

8. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., Коноплянка В.И. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении: учебное пособие. М.: Транспорт, 2001. 108 с.

9. Грабауров В.А. Интеллектуальная транспортная система как инновационная концепция развития транспорта // Наука и техника. 2014. №1. С. 63-69.

10. Маркелов В.М. Интеллектуальные транспортные системы как инструмент управления // Государственный Советник 2014. 2014. №3. С. 42-49.

11. Лукьяница А.А., Шишкин А.Г. Цифровая обработка видеозображений. М.: ООО «Ай-Эс-Си Пресс», 2009. 518 с.

12. Логина О.А., Гатиятов Р.Р. Обзор существующих методов и технических средств учета интенсивности движения транспортного потока // Техника и технология транспорта. 2019. №S (11). С. 13.

13. Корчагин В.А., Новиков А.Н., Ляпин С.А., Ризаева Ю.Н. Сложные саморазвивающиеся транспортные системы // Мир транспорта и технологических машин. 2016. №2(53). С. 110-116.

14. Борисов Е.А., Теплов А.В., Кадырова Д.Ш., Лобынцева О.А. Мониторинг транспортных потоков для определения характеристик к техническим средствам // Мировая наука. 2017. №9(9). С. 24-28.

15. Минниханов Р.Н., Нащёкин А.С. Интегрированная система мониторинга и контроля транспортных потоков // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. №1(79). С. 13-15.

16. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: учебник для студентов вузов, обучающихся по спец. «Стр-во автомобильных дорог и аэродромов» / ред. А. П. Васильев. Москва: Транспорт, 1990. 304 с.

17. Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management // Traffic technology international. Annual review. 1996. P. 158-162.

18. Jaffe R.S. The US National ITS Architecture // Traffic technology international. Part 2 Application. 1996. P. 71-75.

19. Гудима Г.Я., Алецкий С.Н. Использование систем глонасс, gps и видеонаблюдения для мониторинга и управления дорожно-транспортными потоками // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2011. №17. С. 40-43.

20. Тебеньков С.Е., Левашев А.Г. Особенности современных детекторов автомобильного транспорта // Вестник иркутского государственного технического университета. 2011. №6(53). С. 72-79.

21. Новиков И.А. Технические средства организации движения: учебно-методический комплекс. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. 302 с.

Загородний Николай Александрович

Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

К.т.н., зав. кафедрой эксплуатации и организации движения автотранспорта

E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Головкин Михаил Валерьевич

Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Аспирант

E-mail: mixail.golovkin.1997@mail.ru

N.A. ZAGORODNIY, M.V. GOLOVKIN

**RESEARCH OF METHODS OF USING UNMANNED AIRCRAFT
IN THE FIELD OF TRAFFIC MONITORING**

Abstract. This article conducts a study of methods for using unmanned aerial vehicles in the field of traffic monitoring, the purpose of which is to study existing effective methods for monitoring traffic flows using unmanned aerial vehicles to improve road safety. The article discusses the existing criteria for classifying monitoring systems. The main objective of the study is to study the most

effective methods of using unmanned aerial vehicles in the field of traffic monitoring in order to reduce accident rates on highways, and the practice of their use. The article also presents a diagram and description of the proposed monitoring system using an unmanned aerial vehicle.

Keywords: *traffic monitoring, recording violations, traffic safety, unmanned aerial vehicle, methods of use*

BIBLIOGRAPHY

1. Belyaev A.V., Sidorov A.A. Bepilotnye letatel'nye apparaty: primeneniye v sfere obespecheniya bezopasnosti i kontrolya dorozhnogo dvizheniya // *Transport i ekologiya*. 2017. T. 11. №1. S. 74-80.
2. Ognev V.A., Smirnov D.M. Primeneniye bepilotnykh letatel'nykh apparatov v kontrole za dvizheniem transporta: dostoinstva i problemy // *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2018. №1. S. 116-123.
3. Smorodinov M.Yu. Ispol'zovanie bepilotnykh letatel'nykh apparatov dlya fiksatsii narusheniy PDD // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. Ser.: *Ekonomicheskaya nauka*. 2019. T. 10. №2. S. 235-241.
4. Yakovlev V.D., Shestakov D.A. Universal'nyy bepilotnyy letatel'nyy apparat kombinirovannogo tipa i ego primeneniye dlya monitoringa dorozhnoy obstanovki i profilaktiki narusheniya pravil dorozhnogo dvizheniya // *Bepilotnye vozdushnye suda gosudarstvennoy aviatsii*. 2023. S. 106-111.
5. Sukharev N.V. Sistema slezheniya za avtomobil'nym transportom na baze bepilotnykh letatel'nykh apparatov s primeneniem tekhnologii radiochastotnoy identifikatsii i kamer infrakrasnogo diapazona // *Avtomatika na transporte*. 2023. T. 9. №2. S. 141-152.
6. Feofilova A.A., Kapula. A.S. Bepilotnye letatel'nye apparaty v sfere organizatsii dorozhnogo dvizheniya s primeneniem ITS // *Modernizatsiya sfery obrazovaniya i nauki s uchetom mirovykh nauchno-tekhnologicheskikh trendov*. 2020. S. 39-43.
7. Semenova E.D., Dolzhenko K.M. Osobennosti transportnogo potoka v usloviyakh razvitiya gorodskoy aglomeratsii // *Sovremennyye avtomobil'nye materialy i tekhnologii (Samit-2020): materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. 2020. S.324-327.
8. Kocherga V.G., Zyryanov V.V., Konoplyanka V.I. Intellektual'nye transportnye sistemy v dorozhnom dvizhenii: uchebnoye posobie. M.: *Transport*, 2001. 108 s.
9. Grabaurov V.A. Intellektual'naya transportnaya sistema kak innovatsionnaya kontseptsiya razvitiya transporta // *Nauka i tekhnika*. 2014. №1. S. 63-69.
10. Markelov V.M. Intellektual'nye transportnye sistemy kak instrument upravleniya // *Gosudarstvennyy Sovetnik* 2014. 2014. №3. S. 42-49.
11. Luk'yanitsa A.A., Shishkin A.G. Tsifrovaya obrabotka videoizobrazheniy. M.: OOO «Ay-Es-Si Press», 2009. 518 s.
12. Loginova O.A., Gatiyatov R.R. Obzor sushchestvuyushchikh metodov i tekhnicheskikh sredstv ucheta intensivnosti dvizheniya transportnogo potoka // *Tekhnika i tekhnologiya transporta*. 2019. №S (11). S. 13.
13. Korchagin V.A., Novikov A.N., Lyapin S.A., Rizaeva Yu.N. Slozhnye samorazvivayushchiesya transportnye sistemy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2016. №2(53). S. 110-116.
14. Borisov E.A., Teplov A.V., Kadermyatova D.SH., Lobyntseva O.A. Monitoring transportnykh potokov dlya opredeleniya kharakteristik k tekhnicheskim sredstvam // *Mirovaya nauka*. 2017. №9(9). S. 24-28.
15. Minnikhanov R.N., Nashchiokin A.S. Integrirovannaya sistema monitoringa i kontrolya transportnykh potokov // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2017. №1(79). S. 13-15.
16. Vasil'ev A.P., Sidenko V.M. Eksploatatsiya avtomobil'nykh dorog i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: uchebnyk dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po spets. «Str-vo avtomobil'nykh dorog i aerodromov» / red. A. P. Vasil'ev. Moskva: *Transport*, 1990. 304 s.
17. Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management // *Traffic technology international. Annual review*. 1996. R. 158-162.
18. Jaffe R.S. The US National ITS Architecture // *Traffic technology international. Part 2 Application*. 1996. R. 71-75.
19. Gudima G.YA., Aletskiy S.N. Ispol'zovanie sistem glonass, gps i videonablyudeniya dlya monitoringa i upravleniya dorozhno-transportnymi potokami // *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. №17. S. 40-43.
20. Teben'kov S.E., Levashev A.G. Osobennosti sovremennykh detektorov avtomobil'nogo transporta // *Vestnik irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. №6(53). S. 72-79.
21. Novikov I.A. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dvizheniya: uchebno-metodicheskiy kompleks. Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2009. 302 s.

Zagorodnyy Nikolay Alexandrovich
Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46
Candidate of technical sciences
E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Golovkin Mikhail Valerievich
Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46
Postgraduate student
E-mail: mixail.golovkin.1997@mail.ru

Научная статья

УДК 338.47

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-115-122

А.Н. ДОРОФЕЕВ, В.М. КУРГАНОВ, А.А. КОРОЛЬ, Д.Ю. ЛИМ, З.З. ЗАХАРОВ

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ПЕРЕВОЗЧИКА В ЦИФРОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЕ

***Аннотация.** В статье рассматривается подход оценки удовлетворенности потребителей грузовых автотранспортных услуг на основе контент-анализа отзывов, размещенных на цифровой транспортной платформе. В современных условиях стремительно выросла роль воздействия на потребительский спрос цифровых социальных сервисов, фактор влияния которых обусловлен сетевым эффектом. В связи с чем контент-анализ мнений потребителей транспортных услуг на цифровой платформе является актуальной задачей для стимулирования спроса на грузовые автомобильные перевозки.*

***Ключевые слова:** цифровая платформа, автомобильный транспорт, грузовые перевозки, анализ отзывов, контент-анализ, text mining*

Введение

В утвержденной в 2021 году «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года» [1] значительное внимание уделяется цифровой трансформации транспортной отрасли. Более того в 2023 году данная Стратегия была актуализирована Распоряжением Правительства РФ № 3097-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли РФ до 2030 г.», в которой акцентируется внимание на развитии цифровых транспортных платформ (digital transportation platform - DTP) в Российской Федерации. Следует подчеркнуть, что цифровая трансформация, предполагающая кардинальное изменение бизнес-процессов транспортной отрасли, направлена в том числе на «повышение качества транспортно-логистических услуг (повышение доступности и скорости, снижение стоимости), развитие бесшовных внутрироссийских и международных перевозок, обеспечение их безопасности и надежности (устойчивости к особым внешним условиям)». В этом Распоряжении Правительства обращается внимание также на то, что в настоящее время в России в основном развивались цифровые платформы в сфере пассажирских перевозок, а грузовые DTP в нашей стране пока еще находятся на стадии становления по сравнению с со странами ЕС, США и КНР. Таким образом, актуальной задачей является изучения роли цифровых транспортных платформ в повышении эффективности грузовых автомобильных перевозок.

Анализ литературных источников

Сам термин «цифровая платформа» имеет происхождение из IT-индустрии и в общем случае представляет собой Интернет-сайт, состоящий из совокупности интегрированных цифровых сервисов, обеспечивающих возможность поставщикам и потребителям товаров и услуг гибко и взаимовыгодно взаимодействовать между собой [2]. В настоящее время существует различные формы и форматы взаимодействия между поставщиками и потребителями в различных отраслях, в том числе носящих и некоммерческий характер, например, в сфере государственного управления. В данном контексте прежде всего имеется ввиду портал Gosuslugi.ru [3]. В транспортной отрасли формат этого взаимодействия в целом позволяет формировать принципиально новые бизнес-ценности. Например, в сфере авиаперевозок широкую известность получили такая цифровая платформа-агрегатор, как Aviasales.ru, которая фактически предлагает потребителям услуги продвинутого поиска авиабилетов. Новая бизнес-ценность этой платформы состоит в том, что клиент имеет возможность сравнить цены на авиабилеты от нескольких авиакомпаний.

Однако, наиболее ярким примером, пожалуй, являются платформы пассажирских такси Uber и Яндекс Go, которые также являются агрегаторами в сфере пассажирских и легких грузовых перевозок.

Среди грузовых цифровых транспортных платформ наибольшее распространение получили следующие концепции [4]:

- фрахтовые площадки или биржи (digital freight exchange), где владельцы транспортных средств размещают предложения о свободных автомобилях, а грузовладельцы размещают предложения о грузах, нуждающихся в перевозках;
- транспортные платформы, где кроме услуг фрахта доступны также услуги экспедирования (digital freight forwarder), включающие в том числе оформление перевозочных и финансовых документов;
- тендерные платформы (freight procurement provider), на которых грузовладелец устраивает тендер или аукцион среди перевозчиков за право перевезти его груз;
- телематические платформы, обеспечивающие мониторинг местоположения транспортных средств, наблюдение за поведением водителей, удаленную диагностику бортовых систем автомобилей.

Существуют примеры иных важных бизнес-ценностей, которые предоставляют цифровые платформы. Характерным примером является возникновение так называемого сетевого эффекта, который проявляется во влиянии одной группы пользователей на другую [5]. Иными словами, положительный сетевой эффект состоит в том, что чем больше потребителей товара или услуги, которых выбрали их на платформе, оставят позитивных отзывов, тем еще больше потенциальных потребителей захотят ими воспользоваться. Таким образом, рост спроса на товар или услугу связан положительной обратной связью с их качеством, а следовательно, с удовлетворенностью, потребителей. И наоборот, ценность товара и или услуги в глазах потенциальных потребителей будет снижаться при наличии большой доли отрицательных отзывов, или при наличии небольшого количества отзывов на платформе. В частности, в работе [6] представлена следующая зависимость полезности транспортной услуги на платформе, являющаяся функцией наличия отзывов

$$u = q + x - p, \quad (1)$$

где u – переменная, характеризующая полезность товара или услуги для клиента;

q – переменная, характеризующая качество товара или услуги в контексте опыта использования;

x – переменная, характеризующая предпочтения клиента;

p – переменная, характеризующая цену товара или услуги.

При этом отмечается субъективная зависимость качества транспортной услуги от отзывов, в то мере, что в представление клиента о качестве будет усиливаться за счет влияния положительных отзывов, размещенных на платформе. При этом если ожидания были завышенными, то и восприятие качества при личном опыте использования транспортной услуги может не соответствовать ее реальному показателю. В свою очередь в работе [7] отмечается, что позитивные отзывы на цифровой транспортной платформе существенно стимулируют спрос на услуги компании со стороны потребителей. Однако, наблюдается также, что транспортные компании часто не успевают за таким резким увеличением спроса на свои услуги, что приводит к снижению качества перевозок, а, следовательно, к появлению негативных отзывов и последующему падению спроса. К такому же выводу приходят авторы и в работе [8], которые констатируют, что в настоящее время поведение потребителей транспортных услуг связано с его восприятием качества этих услуг зависимости от отзывов на цифровой транспортной платформе.

Таким образом, с практической точки зрения отзывы от компании-перевозчике на цифровой транспортной платформе могут являться одним из доминирующих факторов ее рейтинга, отражающего его надежность. Такой подход в частности используется в китайской цифровой платформе LOGINK [9], где отзывы потребителей влияют на рейтинги транспортных компаний. Это влияет на возможность компании-перевозчика получать заказы на платформе. В

нашей стране большую популярность имеет цифровая транспортная платформа ATI.SU, которая также ведет свой рейтинг компаний-перевозчиков. На рейтинг перевозчиков в том числе значительную роль играют отзывы потребителей о компании на данной платформе (рис. 1).

76 886 участников		Паспорт	Рекомендации
1	ТК Фаст деливери, ООО Санкт-Петербург, Перевозчик	★★★★★	219
2	АЛВА (Щипанов Алексей Николаевич, ИП) Нижние Серги, Перевозчик	★★★★★	91
3	Зиновьев Алексей Алексеевич, ИП Таганрог, Перевозчик	★★★★★	289
4	Поварницин В.В., ИП Чайковский, Перевозчик	★★★★★	230
5	Миронов В.В., ИП Ульяновск, Перевозчик	★★★★★	462
6	Компания "Автокурьер" (Москвин Сергей... Рыбинск, Перевозчик	★★★★★	580

Рисунок 1 – Рейтинг компаний-перевозчиков на цифровой транспортной платформе ATI.SU

Таким образом, недооценка или игнорирование транспортной компанией отзывов о своей работе может привести к резкому снижению спроса на ее услуги в свою очередь, вплоть до его отсутствия. В свою очередь большое количество позитивных отзывов может привести к резкому спросу на перевозки, к которому компания должна быть также не готова. В связи с этим практический интерес представляет контент-анализ [10] отзывов о компаниях-перевозчиках, с целью выявления характерных факторов, отражающих восприятия потребителями качества транспортных услуг.

Материал и методы

На предварительном этапе исследования с нами были собраны 727 отзывов о работе 60 компаний на платформе ATI.SU. Примеры данных отзывов представлены в таблице 1. На следующем этапе была проведена процедура лемматизации, т.е. приведение слов в отзывах к нормальной (словарной) форме, и сформирована диаграмма «Облако слов» (рис. 2), отражающая основные смысловые аспекты отзывов. Как видно на этой диаграмме подавляющее большинство отзывов имеют позитивную тональность. Однако, прикладное значение имеет выявление и последующий слов, характеризующих аспекты качества грузовых автомобильных перевозок. Методом анализа на данном этапе является подсчет частотности данных слов. Результат анализа представлен в таблице 2.

Таблица 1 – Примеры отзывов потребителей о выполненных перевозках

Отзыв
Всегда на связи. Вежливое общение, быстрая доставка, соблюдение всех пунктов по договору с предоставлением сопроводительных документов и отслеживание правильности их заполнения. Всем рекомендуем!
Отличный перевозчик, Профессионал своего дела. Своевременная подача автомобиля и доставка груза. Спасибо за сотрудничество, было приятно работать
Работали впервые. Груз доставлен точно в указанный срок, документооборот по рейсу в полном порядке, водитель всегда на связи, работают с НДС. Будем рады дальнейшему сотрудничеству!
Хороший перевозчик. Машину подали в срок, груз довели в целостности и сохранности. Сработали ответственно, без нареканий. Всем рекомендую
Рекомендуем как надежного партнера! Рейс выполнен в срок, водитель и менеджер всегда на связи, быстрый возврат документов. Надеемся на дальнейшее сотрудничество
Отличная компания, приятно работать с ответственными и исполнительными! Быстро, качественно и свое-

временно доставленный груз!

Надежный перевозчик. Качество услуг на 100%. Прибытие, выгрузка все своевременно. Водитель всегда на связи. Рекомендую как добросовестного партнера.



Рисунок 2 – Диаграмма «Облако слов»

Таблица 2 – Анализ частотности слов, характеризующих грузовые автомобильные перевозки

Слово (фраза)	Частотность
в срок	197
на связи	176
ответственный	142
оплата	141
быстро	94
вовремя	89
отличный	80
водитель	70
без нареканий	68
документы	67
надежный	48
добросовестный	37
своевременная	29

Теория

Проведенный анализ частотности ключевых слов в отзывах, характеризующих грузовые автомобильные перевозки показал, что на первом месте находятся слова и словосочетания как «в срок», «на связи», «ответственный», которые в целом отражают надежность перевозок. Однако, более значимым статистически с точки зрения контент-анализа является показатель TF-IDF (Term Frequency - Inversed Document Frequency, частота слова - обратная частота документа), отражающий степень важности слова (терма) относительно всех отзывов [11-12].

$$TF - IDF(t, d) = TF(t, d) \times IDF(t, d), \quad (2)$$

где $TF(t, d)$ - частота термов (Term Frequency), отражающая, как часто тот или иной терм t

встречается в документе d .

$$TF(t, d) = \frac{n_{t,d}}{\sum_k n_{k,d}}, \quad (3)$$

$n_{t,d}$ – количество упоминаний термина t в документе d ;

$\sum_k n_{k,d}$ – сумма всех слов k , которые есть в документе d ;

$IDF(t, d)$ – обратная частота документа (Inverse Document Frequency), отражающая, как много в корпусе документов содержится документов с данным термом

$$IDF(t, d) = \log \frac{n_d}{|\{d_i \in D, t \in d_i\}|}, \quad (4)$$

где n_d – количество всех документов d в корпусе;

$|\{d_i \in D, t \in d_i\}|$ – данное выражение представляет собой количество только тех документов d_i из всего корпуса документов D , в которых встречается терм t .

Для расчета показателей TF-IDF была сформирована матрица «терм-документ» (рис. 3).

	Количество слов	связи	плата	срок	ответственн
Ответственный перевозчик, всегда на связи. Рекомендую к сотрудничеству. Желаю процветания в дальнейшей работе.	13	1	0	0	0
Отличный перевозчик! Загрузка и выгрузка точно в срок. Водитель всегда на связи. Рекомендую к сотрудничеству и надеемся на дальнейшую работу. Желаю успехов в дальнейшей работе!	25	1	0	1	0
Отличный перевозчик! Работа без нареканий. Водитель всегда на связи. Все во время! Рекомендую!	13	1	0	0	0
Отличная компания, надежные, ответственные, пунктуальные, без нареканий, рекомендую к сотрудничеству.	10	0	0	0	1
Отличный перевозчик! Очень добросовестно относятся к своей работе. Машина на погрузке и выгрузке в срок, всегда на связи. Приятно работать! Рекомендую!!!	21	1	0	1	0
Надежный, ответственный, пунктуальный, не конфликтный. Надеемся на дальнейшее сотрудничество. Особая благодарность Тегаеву Сослану. Рекомендуем к сотрудничеству.	16	0	0	0	1
Замечательный перевозчик! погрузка/выгрузка по времени, всегда на связи, приятно работать с ответственными людьми. Процветания вашей компании! Отдельное спасибо Дарье!	17	1	0	0	1

Рисунок 3 – Матрица «терм-документ» (фрагмент)

Результаты расчета показателя TF-IDF по всему корпусу отзывов показали, что по смысловым аспектам наибольшая удовлетворенность потребителей транспортных характеризуется надежностью перевозок, связанная с водителем и доставкой точно в срок (рис. 4).

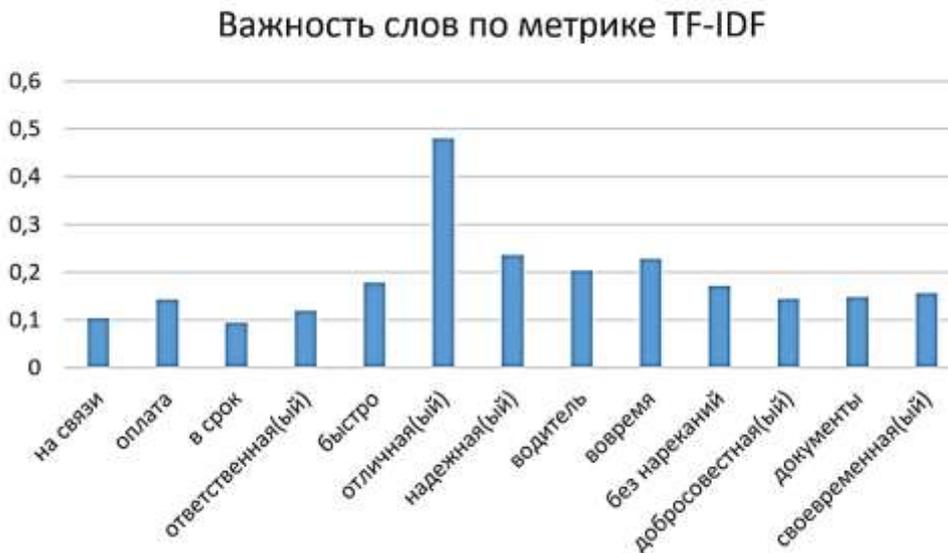


Рисунок 4 – Важность слов по метрике TF-IDF.

Результаты и обсуждение

Проведенный контент-анализ отзывов потребителей на цифровой транспортной платформе ATLSU показал, что надежность перевозок является доминирующим фактором при выборе поставщика. В данном контексте в отзывах совместно встречающимися словами являются характеристики скорости доставки, ее выполнения точно в срок, без каких-либо про-

блемных ситуаций. Также в данном контексте отдельно характеризуется роль водителя, как важного фактора выполнения надежной перевозки, а также мониторинг его деятельности с помощью средств связи. Кроме того, факторами надежности являются своевременная оплата и правильно оформленные документы.

В настоящее время большинство потребителей товаров и услуг предпочитают принимать решение о покупке, исходя из оценки отзывов об этих товарах и услугах. В соответствии с этим цифровые платформы формируют свои собственные рейтинги надежности компаний с учетом этих отзывов. Характерным примером является цифровая транспортная платформа АТИ.SU, которая в том числе на основании анализа отзывов клиентов о перевозках формирует так называемый «паспорт» компании с соответствующим рейтингом (рис. 5). Таким образом, социальные сервисы на цифровых платформах играют значительную роль в поддержке спроса на услуги компаний.

В связи с этим рассмотренный в статье контент-анализ отзывов является действенным практическим примером использования Text Mining для выявления мнений и предпочтений потребителей грузовых автотранспортных услуг. Ограничением данного метода является неприменимость его для анализа сложной семантики. Однако, для транспортных компаний его использование является вполне осуществимым с помощью существующего офисного программного обеспечения для продвижения своих услуг на цифровой платформе. Использование этого подхода позволит им управлять спросом на свои услуги. Дальнейшее развитие исследования отзывов о транспортных услугах при использовании методов и подходов Text Mining таких, как классификация, кластеризация и других позволит более точно и подробно провести оценку представлений потребителей о качестве грузовых автомобильных перевозках.

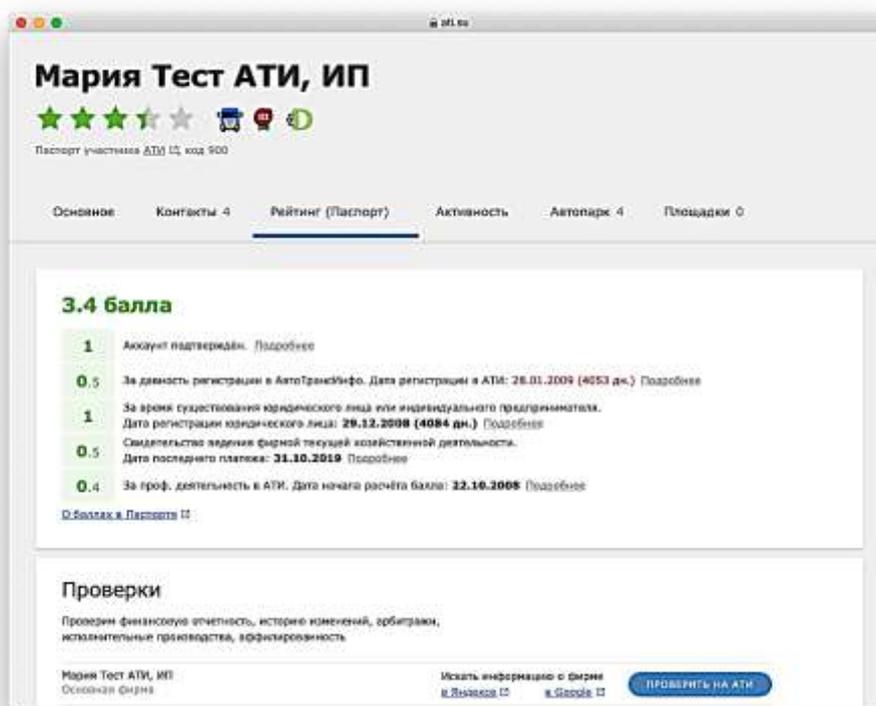


Рисунок 5 – «Паспорт» перевозчика на цифровой транспортной платформе АТИ.SU

Выводы

Реализация цифровой трансформации автотранспортной отрасли требует применения различных подходов, методов и средств обработки и анализа информации, в том числе и неструктурированных данных, к которым относится текст. При этом цифровые транспортные платформы являются одними из крупнейших источников таких данных, которые необходимо использовать для повышения эффективности перевозок. Таким образом, представленный в данном исследовании подход позволяет транспортным компаниям на практике осуществ-

ляться цифровую трансформацию своей деятельности, проводя контент-анализ отзывов клиентов и выявляя основные факторы перевозочного процесса, являющиеся наиболее привлекательными для потребителей. В свою очередь, наиболее полное удовлетворение потребностей клиентов при выполнении перевозок создает предпосылки для публикации ими дополнительных отзывов, тем самым увеличивая спрос на транспортные услуги предприятия. Проведенное исследование показало, что методы и подходы Text Mining создают предпосылки для активного и эффективного управления этим спросом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Последняя редакция. М.: Центрмаг. 2024. 256 с.
2. Madanaguli A., Parida V., Sjödin D., Oghazi P. Literature review on industrial digital platforms: A business model perspective and suggestions for future research // *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 194. 2023. 122606.
3. Дорофеев А.Н. Проблемы перехода от цифровизации к цифровой трансформации в России // *Финансовая жизнь*. №1. 2023. С. 75-79.
4. Heinbach C., Beinke J., Kammler F. Thomas O. Data-driven forwarding: a typology of digital platforms for road freight transport management // *Electronic Markets*. 32. 2022. P. 807-828.
5. Dai Q. Understanding how platform modularity enhances network effects // *Electronic Markets*. 33. 2023. P. 33-40.
6. Huang S., Potter A., Eyers D., Li Q. The influence of online review adoption on the profitability of capacitated supply chains // *Omega*. Vol. 105. 2021. 102501.
7. Huang S., Potter A., Eyers D. Using simulation to explore the influence of online reviews on supply chain dynamics // *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 151. 2021. 106925.
8. Li L., Dai Y., Sun Y. Impact of data-driven online financial consumption on supply chain services // *Industrial Management & Data Systems*. Vol. 121. №4. 2021. P. 856-878.
9. Peng R., Ding R. The Application and Development of Big Data in Transport Logistics Industry in China // *IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*. 2019. P. 149-154.
10. Курганов В.М., Грязнов М.В., Дорофеев А.Н. Контент-анализ исторических источников в исследовании терминологии логистики // *Логистика*. №6. 2023. С. 41-43.
11. Хобсон Л., Ханнес Х., Коул Х. Обработка естественного языка в действии. СПб.: Питер, 2020. 576 с.
12. Практики анализа качественных данных в социальных науках / Отв. ред. Е.В. Полухина. М.: ИД ВШЭ, 2023. 384 с.

Дорофеев Алексей Николаевич

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Адрес: 125167, Россия, Москва, пр-кт Ленинградский, д. 49/2
К.т.н., доцент кафедры «Финансовые технологии»
E-mail: andorofeev@fa.ru

Курганов Валерий Максимович

Тверской государственный университет
Адрес: 170100, Россия, г. Тверь, ул. Желябова, 33
Д.т.н., профессор кафедры экономики предприятия и менеджмента
E-mail: glavreds@gmail.com

Король Алина Александровна

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: 119049, Россия, Москва, улица Шаболовка, 26, стр. 1
Студент
E-mail: aakorol@edu.hse.ru

Лим Дмитрий Юрьевич

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: 194100, Россия, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 3, корп. 1, лит. А
Студент
E-mail: dyulim@edu.hse.ru

Захаров Захар Захарович

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Адрес: 119049, Россия, Москва, улица Шаболовка, 26, стр. 1
Студент
E-mail: zzzakharov@edu.hse.ru

A.N. DOROFEEV, V.M. KURGANOV, A.A. KOROL, D.YU. LIM, Z.Z. ZAKHAROV

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF A ROAD CARRIER IN A DIGITAL TRANSPORT PLATFORM

Abstract. *The article discusses an approach to assessing the satisfaction of consumers of freight transport services based on content analysis of reviews posted on a digital transport platform. In modern conditions, the role of influencing consumer demand of digital social services, the influence factor of which is due to the network effect, has rapidly grown. In this regard, content analysis of the opinions of consumers of transport services on a digital platform is an urgent task to stimulate demand for road freight transportation.*

Keywords: *digital platform, automobile transport, freight transportation, review analysis, content analysis, text mining*

BIBLIOGRAPHY

1. Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda. Poslednyaya redaktsiya. M.: TsentrMag. 2024. 256 s.
2. Madanaguli A., Parida V., Sjdin D., Oghazi P. Literature review on industrial digital platforms: A business model perspective and suggestions for future research // Technological Forecasting and Social Change. Vol. 194. 2023. 122606.
3. Dorofeev A.N. Problemy perekhoda ot tsifrovizatsii k tsifrovoy transformatsii v Rossii // Finansovaya zhizn'. №1. 2023. S. 75-79.
4. Heinbach C., Beinke J., Kammler F. Thomas O. Datadriven forwarding: a typology of digital platforms for road freight transport management // Electronic Markets. 32. 2022. R. 807-828.
5. Dai Q. Understanding how platform modularity enhances network effects // Electronic Markets. 33. 2023. R. 33-40.
6. Huang S., Potter A., Eysers D., Li Q. The influence of online review adoption on the profitability of capacitated supply chains // Omega. Vol. 105. 2021. 102501.
7. Huang S., Potter A., Eysers D. Using simulation to explore the influence of online reviews on supply chain dynamics // Computers & Industrial Engineering. Vol. 151. 2021. 106925.
8. Li L., Dai Y., Sun Y. Impact of data-driven online financial consumption on supply chain services // Industrial Management & Data Systems. Vol. 121. №4. 2021. R. 856-878.
9. Peng R., Ding R. The Application and Development of Big Data in Transport Logistics Industry in China // IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC). 2019. R. 149-154.
10. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Dorofeev A.N. Kontent-analiz istoricheskikh istochnikov v issledovanii terminologii logistiki // Logistika. №6. 2023. S. 41-43.
11. Hobson L., Hannes H., Koul H. Obrabotka estestvennogo yazyka v deystvii. SPb.: Piter, 2020. 576 s.
12. Praktiki analiza kachestvennykh dannykh v sotsial'nykh naukakh / Otv. red. E.V. Polukhina. M.: ID VSHE, 2023. 384 s.

Dorofeev Alexey Nikolaevich

Financial University under the Government
of the Russian Federation
Address: 125167, Russia, Moscow, Leningradsky Ave.
Candidate of Technical Sciences
E-mail: andorofeev@fa.ru

Kurganov Valery Maksimovich

Tver State University
Address: 170100, Russia, Tver, st. Zhelyabova, 33
Doctor of Technical Sciences
E-mail: glavreds@gmail.com

Korol Alina Alexandrovna

National Research University Higher
School of Economics
Address: 119049, Russia, Moscow, Shabolovka str.
Student
E-mail: aakorol@edu.hse.ru

Lim Dmitry Yurievich

National Research University Higher
School of Economics
Address: 194100, Russia, St. Petersburg
Student
E-mail: dyulim@edu.hse.ru

Zakharov Zakhar Zakharovich

National Research University Higher
School of Economics
Address: 119049, Russia, Moscow, Shabolovka str.
Student
E-mail: zzzakharov@edu.hse.ru

Научная статья

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-123-130

А.Н. СЕМКИН

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ПОДСИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИОРИТЕТНОГО ПРОЕЗДА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ИТС ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

***Аннотация.** Автор статьи приводит результаты работы по совершенствованию алгоритмов предоставления приоритетного проезда пассажирского транспорта общего пользования, основанного на анализе нормативно-правовой информации, а также на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследованиях по использованию глобальных навигационных спутниковых систем, и нашедших применение в практической сфере.*

***Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные системы, пассажирский транспорт общего пользования, глобальные навигационные спутниковые системы, приоритетный проезд*

Введение

Развитие пассажирского транспорта общественного пользования (ПТОП) в нашей стране связано с широким внедрением интеллектуальных транспортных систем в различных регионах [6, 7, 10, 11, 13, 14]. Реализуемый на данном этапе подход к формированию структуры ИТС, характеризуется наличием интеграционной платформы, выполняющей функции интеграции получаемой от подсистем ИТС информации и определение сценария реагирования на возникающие ситуации [15, 16, 21, 22].

Так, в частности, для повышения эффективности функционирования ПТОП в ряде случаев возникает необходимость в обеспечении его приоритетного проезда. Ранее данные вопросы решались путем организации выделенных полос движения на улично-дорожной сети (УДС) [9]. Однако, на данный момент реализация функции обеспечения приоритетного проезда транспортных средств возможна посредством взаимодействия различных подсистем ИТС.

Материал и методы

При внедрении подсистемы обеспечения приоритетного проезда (ПОПП) в интеграционную платформу городских агломераций необходимо соблюдение требований ГОСТ Р 71095-2023 «Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема обеспечения приоритетного проезда транспортных средств. Общие требования», который предусматривает взаимодействие ПОПП через модуль «Автоматизированной системы управления дорожным движением» (АСУДД) интеграционной платформы (п. 6.6 и 6.7) [1]:

– при централизованной организации ПОПП запрос на приоритетный проезд должен быть сформирован или передан в модуль АСУДД интеграционной платформы с помощью соответствующих систем диспетчеризации (п. 6.6);

– при децентрализованной организации ПОПП запрос на приоритетный проезд должен быть сформирован непосредственно транспортным средством (ТС) и передан в модуль АСУДД интеграционной платформы с помощью соответствующей дорожной инфраструктуры (п. 6.7).

В соответствии с ГОСТ Р 71095-2023 объектами приоритета являются:

– ТС, задействованные в охранным мероприятии по передвижению объектов государственной охраны;

– специальное ТС;

– организованные колонны ТС;

– ПТОП;

– ТС пользователей сервисов ИТС, обеспечивающих приоритетный проезд.

Теория

Реализация обеспечения приоритетного проезда ПТОП осуществляется посредством

подсистемы управления светофорными объектами (ПСУ) [2], которая также решает задачи:

- мониторинга параметров дорожного движения;
- координированного управления движением;
- транспортного моделирования и прогнозирования.

Причем в рамках локальных проектов ИТС могут функционировать несколько ПСУ, объединенных на уровне интеграционной платформы ИТС модулем координированного управления, т.е. схема функционирования выглядит следующим образом (рис.1).



Рисунок 1 – Физическая архитектура ПСУ [2]

Однако, ГОСТ Р 71095-2023 «Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема обеспечения приоритетного проезда транспортных средств. Общие требования» предусматривает реализацию функций подсистемы обеспечения приоритетного проезда (ПОПП) через модуль АСУДД (рис. 2-3) [1].



Рисунок 2 – Физическая архитектура ПОПП ПТОП, не обладающего возможностью автоматической идентификации ТС: 1 – отправка запроса на приоритетный проезд; 2 – информирование о возможности предоставления приоритета; 3 – информирование о предоставлении приоритета; 4 – передача данных об общественном транспорте; 5 – отправка сценария управления светофорного управления; 6 – передача управляющего сигнала



Рисунок 3 – Физическая архитектура ПОПП ПТПОП, обладающего возможностью автоматической идентификации ТС: 1 – отправка запроса на приоритетный проезд; 2 – информирование о возможности предоставления приоритета; 3 – информирование о предоставлении приоритета; 4 – передача данных об общественном транспорте; 5 – отправка сценария управления светофорного управления; 6 – передача управляющего сигнала

Данная несогласованность реализации функции «приоритетного пропуска» может привести к некорректному построению физической и функциональной архитектуры ИТС городских агломераций. В данном случае выход видится в унификации функциональных возможностей модулей координированного управления дорожным движением и модуля АСУДД.

Ещё достаточно серьёзную проблему представляет оснащение ТС оборудованием автоматической идентификации, т.к. данные технологии ещё недостаточно внедрены в систему ПТПОП в различных регионах нашей страны. Таким образом, наиболее рациональной схемой организации приоритетного проезда ПТПОП на сегодняшний момент является взаимодействие ТС и периферийного оборудования ПСУ посредством подсистемы управления маршрутами общественного транспорта (рис. 4).



Рисунок 4 – Физическая архитектура ПОПП ПТПОП при объединении функциональных возможностей модуля координированного управления движением и модуля АСУДД: 1 – отправка запроса на приоритетный проезд; 2 – информирование о возможности предоставления приоритета; 3 – информирование о предоставлении приоритета; 4 – передача данных об общественном транспорте; 5 – отправка сценария управления светофорного управления; 6 – передача управляющего сигнала

Ясно, что для функционирования представленной физической архитектуры ПОПП пассажирского транспорта общего пользования необходимо предусмотреть возможность определения пространственных координат ТС, а также уровня заполняемости салона. Для этого предлагается реализовать следующий алгоритм предоставления приоритетного проезда ПТОП (рис. 5).

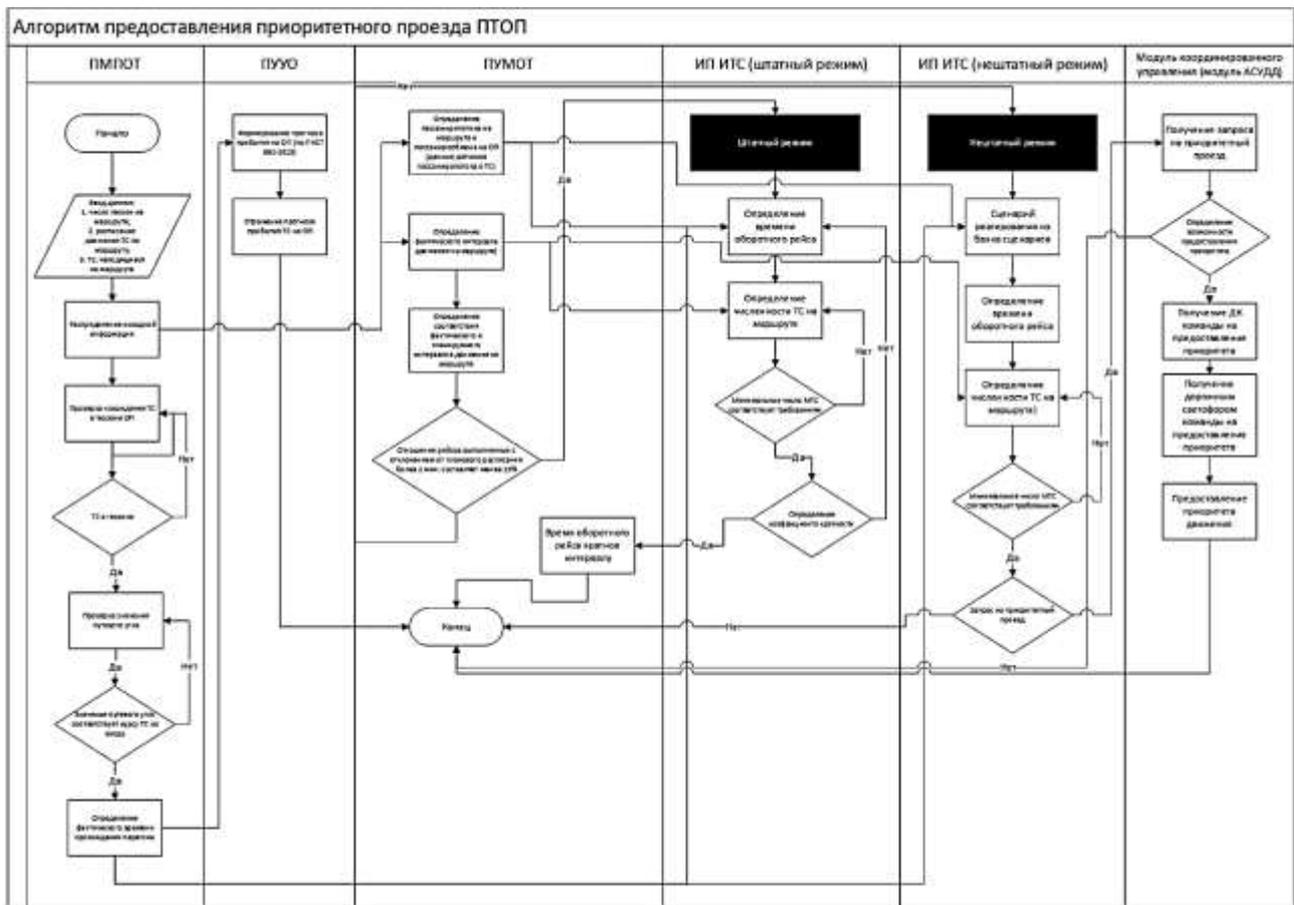


Рисунок 5 – Алгоритм предоставления приоритетного проезда

Предложенный алгоритм предполагает использование телематических данных, получаемых посредством глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) [7, 12, 19, 20], которые формируются в подсистеме мониторинга перемещения общественного транспорта (ПУМОТ). При этом, осуществляется построение прогноза прибытия ТС на остановочные пункты (ОП) и отражение его на остановочном табло (подсистема управления «умными остановками» (ПУУО)) [4].

Также алгоритм предусматривает получение информации о пассажиропотоке на маршруте и пассажирообмена на ОП, осуществляемого подсистемой управления маршрутами общественного транспорта посредством датчиков учёта пассажиропотоков, устанавливаемых на ТС. При этом определяется фактический интервал движения ТС. В качестве критерия определения востребованности предоставления приоритетности движения ТС и соответственно необходимости корректирования расписания движения является требование «Социального стандарта транспортного обслуживания населения» о допустимом отставании от планового расписания не более двух минут и недопустимости превышения числа рейсов с такими отставаниями от общего числа рейсов более чем на 15% [5].

Предложенный алгоритм предусматривает, что при наличии допустимых отклонений фактических показателей работы ПТОП на маршруте плановым [5] функционирование ИТС происходит в штатном режиме [3]. При этом происходит постоянный контроль за временем оборотных рейсов ПТОП и их корректировка по показателям кратности интервалов движения.

В случае значительного отклонения фактических показателей работы ПТОП от плановых ИТС переходит в штатный режим функционирования. При этом, в зависимости от сложившейся ситуации производится выбор сценария реагирования ИТС. В данном случае также производится определение значений фактического времени оборотных рейсов по критерию кратности интервалов. При необходимости производится запрос на предоставление приоритетного проезда, который передается в модуль координированного управления (модуль АСУДД).

В случае невозможности предоставления приоритетного проезда модуль координированного управления (модуль АСУДД) передает отрицательный ответ в интеграционную платформу и происходит выбор альтернативного сценария реагирования.

По получении положительного ответа о возможности предоставления приоритетного проезда модуль координированного управления (модуль АСУДД) передает команду на дорожный контроллер (ДК) и далее на дорожный светофор. По предоставлении приоритетного проезда ИТС возвращается в штатный режим функционирования.

Результаты и обсуждение

Предложенный алгоритм реализован в специализированном программном обеспечении, состоящем из двух блоков комплексных подсистем:

- комплекс подсистем координации движения общественного транспорта и диспетчерского управления транспортом служб содержания дорог [17];
- комплекс подсистем управления дорожным движением [18].

Данное ПО осуществляет мониторинг работы общественного транспорта (рис. 6), а также управление транспортными потоками городских агломераций (рис. 7).

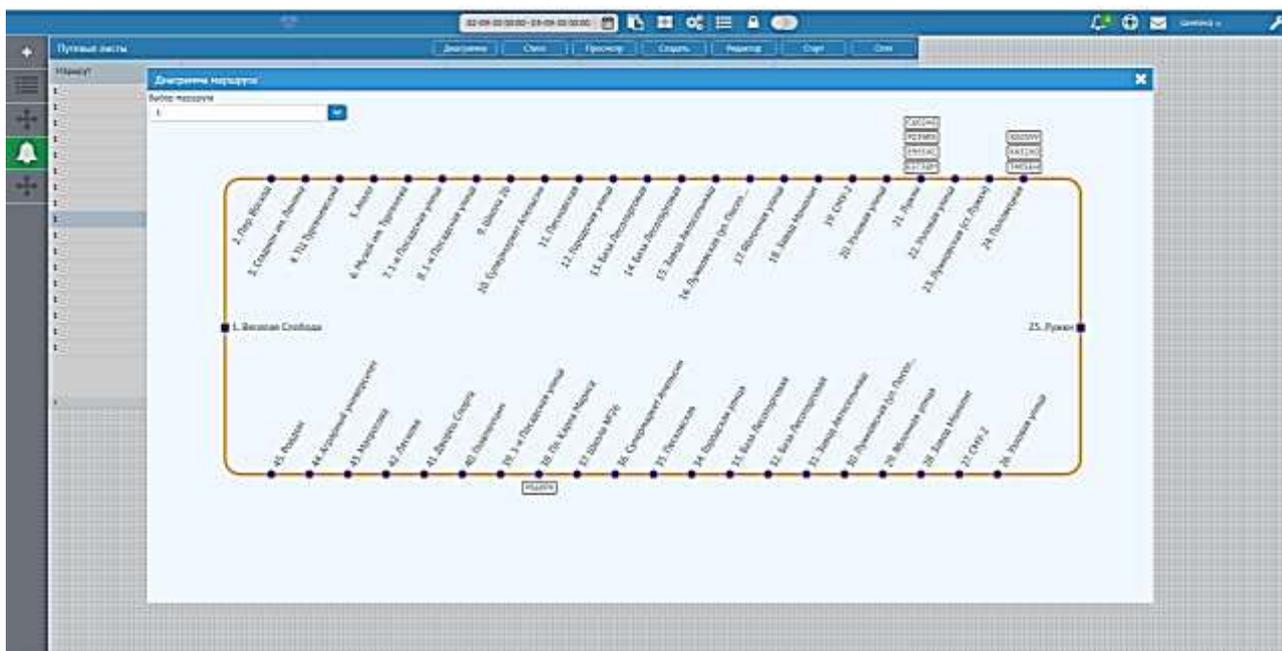


Рисунок 6 – Мониторинг работы ПТОП на линии

Разработанное специализированное программное обеспечение реализовано в нескольких регионах нашей страны и зарекомендовало себя как эффективный механизм управления транспортной системой городских агломераций.

Выводы

Предложенные решения базируются на современных достижениях отечественной школы ИТС, которая активно развивается и опирается на научный и практический опыт ведущих исследовательских центров и предприятий реального сектора экономики нашей страны.



Рисунок 7 – Комплекс подсистем управления дорожным движением

Разработанные алгоритмы и специализированное программное обеспечение позволит повысить эффективность работы ПТОП городских агломераций, путем применения комплексного подхода к управлению транспортными системами городских агломераций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 71095-2023. Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема обеспечения приоритетного проезда транспортных средств. Общие требования.
2. ГОСТ Р 71096-2023. Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема светофорного управления. Общие требования.
3. ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем.
4. ПНСТ 892-2023. Интеллектуальные транспортные системы. Системы диспетчерского управления городским наземным пассажирским транспортом. Требования к архитектуре и функциям подсистемы информирования пассажиров, использующей фактическую и прогнозную информацию о движении транспортных средств на маршрутах.
5. Об утверждении социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом: Распоряжение Минтранса России от 31 января 2017 г. № НА-19-р (в ред. распоряжения Минтранса России от 13 апреля 2018 г. № НА-55-р).
6. Бодров А.С., Кулев М.В., Девятина Д.Ш., Лобынцева О.А. Оценка готовности Орловской городской агломерации к внедрению интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №3(70). С. 64-72.
7. Галигузова Е.В., Илларионова Ю.Е. Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) [Электронный ресурс] / Символ науки. 2023. №1-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnye-navigatsionnye-sputnikovye-sistemy-gnss>.
8. Жанказиев С.В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01. М., 2012. 450 с.
9. Корягин М.Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. Новосибирск: Наука, 2011. 140 с.
10. Ломакин Д.О. Мезоскопические модели транспортных потоков / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте. Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Орел. 2016. С. 53-59.
11. Новиков А.Н., Васильева В.В., Катунин А.А. Прогнозирование воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду урбанизированных территорий на основе моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2016. №2(55). С. 210-215.
12. Новиков А.Н., Катунин А.А., Кулев А.В., Пешехонов М.В. Сравнение систем определения местоположения и их применение в интеллектуальных транспортных системах // Мир транспорта и технологических машин. 2013. №2(41). С. 109-113.
13. Новиков А.Н., Пржибыл П., Катунин А.А. Перевозки как наука // Мир транспорта и технологиче-

ских машин. 2014. №3(46). С. 96-109.

14. Новиков А.Н., Севостьянов А.Л., Катунин А.А., Кулев А.В. Применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для повышения эффективности функционирования городского общественного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2013. №1(40). С. 85-90.

15. Новиков А.Н., Голенков В.А., Баранов Ю.Н., Катунин А.А., Бодров А.С. Совершенствование дорожной сети для повышения их пропускной способности с использованием средств транспортной телематики // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. №6. С. 128-139.

16. Новиков А.Н., Иващук О.А., Васильева В.В. Управление воздействием потоков автотранспорта на качество акустической среды города на основе информационных технологий // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2007. №4-16. С. 226-232.

17. Мультисервисная платформа совместного использования транспортных средств в городской среде «НАВИГАТОР-С2020»: Свид. 2020614909 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020613633 / Семкин А.Н.; заявл. 26.03.2020; опубл. 29.04.2020, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

18. Единая платформа управления транспортной системой «НАВИГАТОР ИТС»: Свид. 2020614815 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020613381 / Семкин А.Н.; заявл. 22.04.2020; опубл. 25.04.2020, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

19. Фатеев Ю.Л. Определение пространственной ориентации объектов по сигналам радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS [Электронный ресурс] / Исследовано в России. 2004. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-prostranstvennoy-orientatsii-obektov-po-signalam-radionavigatsionnyh-sistem-glonass-gps>.

20. Novikov A.N., Vasileva V.V., Katunin A.A. Application of environmental monitoring systems as part of intelligent transport systems // Наука и техника в дорожной отрасли. 2014. №5. С. 49-51.

21. Sevryugina N.S., Melikhova S.B., Volkov E.A. The solution of applied problems of optimization of stability of system «environment-man-technics» // Modern applied science. 2015. Т. 9. №3. С. 200-207.

22. Savrasov M. Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic level: doctoral thesis. Riga, 2013. 161 p.

Семкин Александр Николаевич

Закрытое акционерное общество Группа компаний «НАВИГАТОР»

Адрес: 302006, Россия, г. Орел, Московская ул, д. 155

Генеральный директор

E-mail: nvg@ntcnvg.ru

A.N. SEMKIN

PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF A SUBSYSTEM FOR ENSURING PRIORITY PASSAGE OF VEHICLES IN ITS URBAN AGGLOMERATIONS

***Abstract.** The author of the article presents the results of work on improving algorithms for providing priority travel for public passenger transport, based on the analysis of regulatory information, as well as on the basis of theoretical and experimental studies on the use of global navigation satellite systems, and those that have found application in the practical field.*

***Keywords:** intelligent transport systems, public passenger transport, global navigation satellite systems, priority travel*

BIBLIOGRAPHY

1. GOST R 71095-2023. Intellektual`nye transportnye sistemy. Podsystema obespecheniya prioritetnogo proezda transportnykh sredstv. Obshchie trebovaniya.
2. GOST R 71096-2023. Intellektual`nye transportnye sistemy. Podsystema svetofornogo upravleniya. Obshchie trebovaniya.
3. GOST R 56294-2014. Intellektual`nye transportnye sistemy. Trebovaniya k funktsional`noy i fizicheskoy arkhitekturam intellektual`nykh transportnykh sistem.
4. PNST 892-2023. Intellektual`nye transportnye sistemy. Sistemy dispetcherskogo upravleniya gorodskim nazemnym passazhirskim transportom. Trebovaniya k arkhitekture i funktsiyam podsystemy informirovaniya passazhirov, ispol`zuyushchey fakticheskuyu i prognoznuyu informatsiyu o dvizhenii transportnykh sredstv na marshrutakh.
5. Ob utverzhdenii sotsial'nogo standarta transportnogo obsluzhivaniya naseleniya pri osushchestvlenii perevozok passazhirov i bagazha avtomobil`nym transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom:

Rasporyazhenie Mintransa Rossii ot 31 yanvarya 2017 g. № NA-19-r (v red. rasporyazheniya Mintransa Rossii ot 13 aprelya 2018 g. № NA-55-r).

6. Bodrov A.S., Kulev M.V., Devyatina D.SH., Lobyntseva O.A. Otsenka gotovnosti Orlovskoy gorodskoy aglomeratsii k vnedreniyu intellektual'nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №3(70). S. 64-72.

7. Galiguzova E.V., Illarionova YU.E. Global'nye navigatsionnye sputnikovye sistemy (GNSS) [Elektronnyy resurs] / Simvol nauki. 2023. №1-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnye-navigatsionnye-sputnikovye-sistemy-gnss>.

8. Zhankaziev S.V. Nauchnye osnovy i metodologiya formirovaniya intellektual'nykh transportnykh sistem v avtomobil'no-dorozhnykh kompleksakh gorodov i regionov: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.22.01. M., 2012. 450 s.

9. Koryagin M.E. Ravnovesnye modeli sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta v usloviyakh konflikta interesov. Novosibirsk: Nauka, 2011. 140 s.

10. Lomakin D.O. Mezoskopicheskie modeli transportnykh potokov / Pod obshchey redaktsiyey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte. Materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel. 2016. S. 53-59.

11. Novikov A.N., Vasil'eva V.V., Katunin A.A. Prognozirovaniye vozdeystviya avtotransportnykh potokov na akusticheskuyu sredyu urbanizirovannykh territoriy na osnove modelirovaniya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2016. №2(55). S. 210-215.

12. Novikov A.N., Katunin A.A., Kulev A.V., Peshekhonov M.V. Sravneniye sistem opredeleniya mestopolozheniya i ikh primeneniye v intellektual'nykh transportnykh sistemakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2013. №2(41). S. 109-113.

13. Novikov A.N., Przhibyl P., Katunin A.A. Perevozki kak nauka // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2014. №3(46). S. 96-109.

14. Novikov A.N., Sevost'yanov A.L., Katunin A.A., Kulev A.V. Primeneniye intellektual'nykh transportnykh sistem (ITS) dlya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo obshchestvennogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2013. №1(40). S. 85-90.

15. Novikov A.N., Golenkov V.A., Baranov YU.N., Katunin A.A., Bodrov A.S. Sovershenstvovaniye dorozhnoy seti dlya povysheniya ikh propusknoy sposobnosti s ispol'zovaniyem sredstv transportnoy telematiki // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2014. №6. S. 128-139.

16. Novikov A.N., Ivashchuk O.A., Vasil'eva V.V. Upravleniye vozdeystviyem potokov avtotransporta na kachestvo akusticheskoy sredy goroda na osnove informatsionnykh tekhnologiy // Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport. 2007. №4-16. S. 226-232.

17. Mul'tiservisnaya platforma sovmestnogo ispol'zovaniya transportnykh sredstv v gorodskoy srede «NAVIGATOR-S2020»: Svid. 2020614909 Rossiyskaya Federatsiya. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM №2020613633 / Semkin A.N.; zayavl. 26.03.2020; opubl. 29.04.2020, Reestr programm dlya EVM. 1 s.

18. Edinaya platforma upravleniya transportnoy sistemoy «NAVIGATOR ITS»: Svid. 2020614815 Rossiyskaya Federatsiya. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM №2020613381 / Semkin A.N.; zayavl. 22.04.2020; opubl. 25.04.2020, Reestr programm dlya EVM. 1 s.

19. Fateev Yu.L. Opredeleniye prostranstvennoy orientatsii ob'ektov po signalam radionavigatsionnykh sistem GLONASS/GPS [Elektronnyy resurs] / Issledovano v Rossii. 2004. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-prostranstvennoy-orientatsii-obektov-po-signalam-radionavigatsionnykh-sistem-glonass-gps>.

20. Novikov A.N., Vasileva V.V., Katunin A.A. Application of environmental monitoring systems as part of intelligent transport systems // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2014. №S5. S. 49-51.

21. Sevryugina N.S., Melikhova S.B., Volkov E.A. The solution of applied problems of optimization of stability of system «environment-man-technics» // Modern applied science. 2015. T. 9. №3. C. 200-207.

22. Savrasov M. Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic level: doctoral thesis. Riga, 2013. 161 p.

Semkin Aleksandr Nikolayevich

Closed Joint Stock Company Group of Companies «NAVIGATOR»

Address: 302006, Russia, Orel, Moskovskaya, 155

CEO

E-mail: nvg@ntcnvg.ru

Научная статья

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-131-139

А.Н. ШЕВЛЯКОВ

ПОДСИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛУЖБ СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ. ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

***Аннотация.** Автор статьи приводит примеры практической реализации экосистемы, включающей технологические продукты для выявления дефектов дорожного полотна. описаны проблемы их внедрения, разработана архитектура модуля, осуществляющего контроль дорожного полотна, приведены результаты внедрения подсистем диспетчеризации управления служб содержания дорог, в части использования искусственного интеллекта.*

***Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные системы, искусственный интеллект, управление служб содержания дорог*

Введение

В соответствии с указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» утверждена национальная стратегия развития искусственного интеллекта (ИИ), которая нашла отражение в реализации многих национальных проектов нашей страны.

Одним из перспективных направлений применения технологий ИИ является сфера интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [1]. Это нашло отражение в реализации нескольких подсистем ИТС с использованием технологий ИИ. Так, например, ИИ применяется для детектирования дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также для мониторинга парковочного пространства и т.д.

Подсистема диспетчеризации управления служб содержания дорог (ПДУССД) является подсистемой ИТС, физическая архитектура которой структурирована Методикой [2], приводящей общие правила и методы определения готовности регионов к внедрению ИТС, эталонную архитектуру ИТС, а также показатели эффективности мероприятий по созданию и развитию модулей и подсистем ИТС.

ИТС Орловской городской агломерации (ОГА) начала строиться в 2020 году именно по направлениям, указанным в Методике [2], и на данный момент ИТС ОГА реализуется комплексно, развивая каждую подсистему равномерно, не делая упор на какую-либо одну из подсистем. Так в ОГА внедрены 55 шт. контроллеров и светофоров подключенных к центру управления, 130 шт. детекторов транспорта, 779 шт. камер видеонаблюдения, 2 метеостанции, подключены 28 шт. единиц общественного транспорта, 24 шт. коммунальной техники и 24 шт. видеорегистраторов. Такой комплексный подход позволяет внедрять методы искусственного интеллекта для управления элементами ИТС, включая диспетчеризацию управления служб содержания дорог.

Материал и методы

Локальный проект ИТС ОГА предусматривает многоуровневую архитектуру, в полной мере соответствующую методическим требованиям [2, 4]. В данной архитектуре можно выделить: модули центральной платформы, подсистемы и сети передачи данных (рис. 1).

Теория

Комплекс подсистем содержания дорог и искусственных сооружений состоит из трех интегрированных подсистем имеющих следующие функции:

1. Подсистема диспетчерского управления транспортом служб содержания дорог
– сбор, сохранение и анализ данных телеметрии, поступающей от транспорта службы;
– управление путевыми листами транспорта службы;

- диспетчерский контроль;
- подсистема управления состоянием дорог (ПУСД);
- сбор и анализ данных о состоянии дорог;
- управление заявками на выполнение работ транспортом служб содержания дорог;
- подсистема мониторинга состояния дороги и дорожной инфраструктуры (ПМСДиДИ);
- сбор данных о состоянии поверхности дорожного полотна;
- сбор данных о состоянии дорожного покрытия и объектов дорожной инфраструктуры;
- управление заданиями на устранение дефектов.

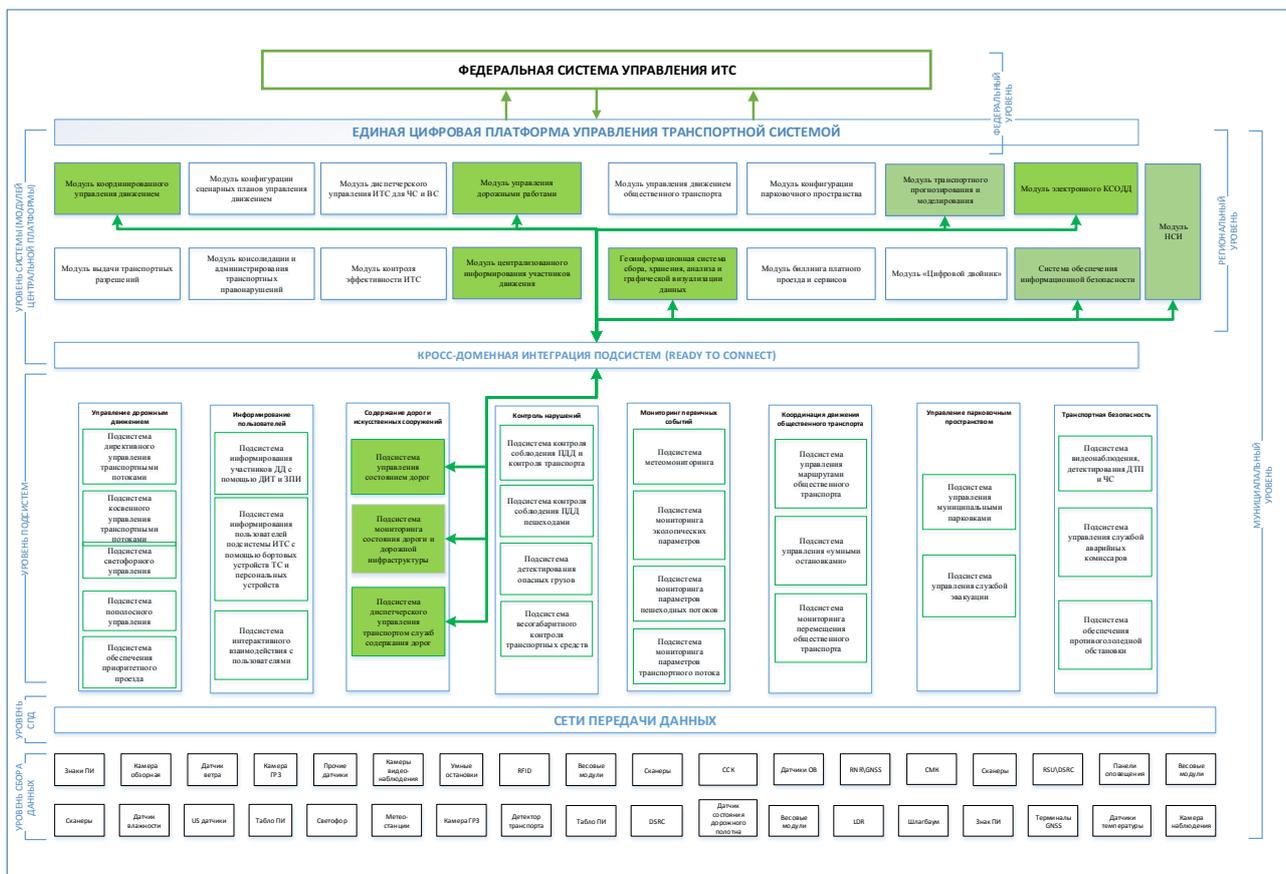


Рисунок 1 – Архитектура ИТС ОГА и место в ней ПДУССД

ПДУССД предназначена для эффективного управления состоянием улично-дорожной сети (УДС) городских агломераций.

ПДУССД обеспечивает следующую функциональность: регистрация заявок на выполнение работ, планирование работ специализированного транспорта, контроль исполнения плана, мониторинг специализированного транспорта.

Целями создания ПДУССД являются:

- совершенствование оперативного управления транспортом служб содержания дорог;
- оптимизация движения транспорта служб содержания дорог, в зависимости от дорожной обстановки и погодных условий; повышение эффективности использования специализированных ТС;
- повышение качества информационного обеспечения автоматизированных систем диспетчерского управления транспортом служб содержания дорог;
- повышение удовлетворенности граждан работой служб содержания дорог;
- обеспечение выполнения требований контролирующих органов.

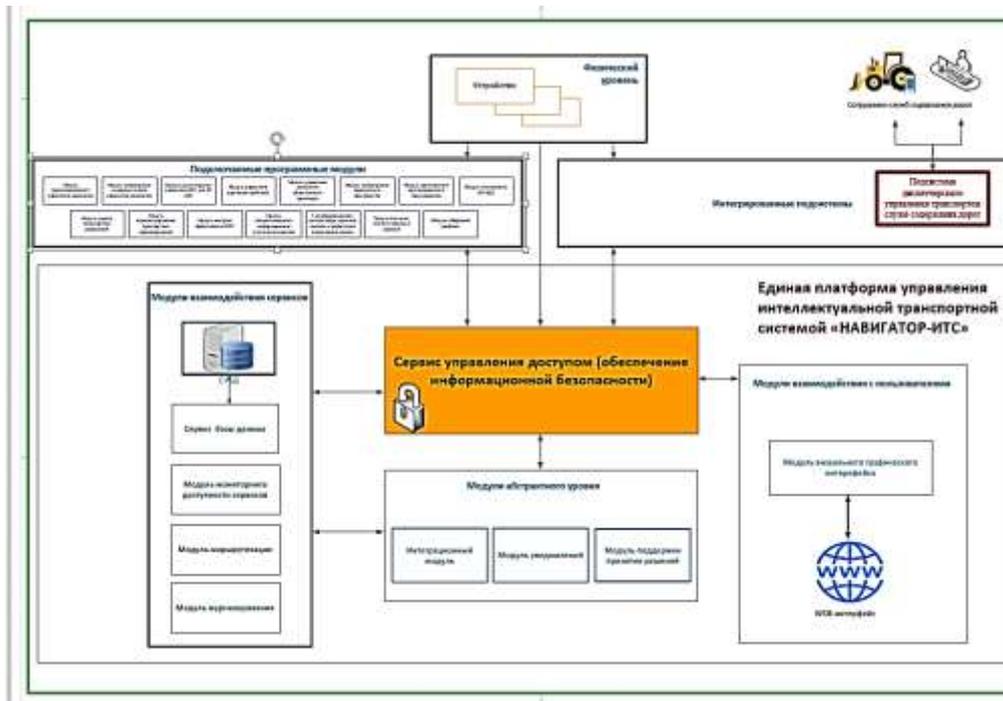


Рисунок 2 – Функциональная схема ПДУССД

Подсистема диспетчерского управления служб содержания дорог (рис. 3) включает в себя: аппаратуру спутниковой навигации (терминал УТП), датчики, контролирующие как параметры транспортного средства (ТС), так и его рабочих органов. Полученные данные обрабатываются в центре обработки данных (ЦОД) посредством автоматизированных рабочих мест (АРМ) диспетчеров.



Рисунок 3 – Структурная схема ПДУССД

ПМСДиДИ предназначена для мониторинга состояния дорожного полотна и элементов дорожной инфраструктуры, управления сервисом технической поддержки состояния автомобильных дорог.

2. Подсистема диспетчеризации управления служб содержания дорог обеспечивает:

– мониторинг процесса технического обслуживания, планового и оперативного ремонта дороги и дорожной инфраструктуры;

- мониторинг состояния дорожного полотна и дорожной инфраструктуры, контроль соблюдения норм их содержания и правил эксплуатации;
- прием и передачу информации о состоянии дорожного полотна, метео- и видеоинформации посредством мобильного пункта дорожного контроля;
- анализ, учет, диагностика транспортно-эксплуатационного состояния дорожного полотна и дорожной инфраструктуры;
- сбор данных о дефектах и повреждении элементов дорожной инфраструктуры и передача данных службам содержания дорог;
- определение локации обнаруженных дефектов, просмотр карточек работ и дефектов, в том числе фотоснимков, описание дефектов;
- ведение перечня обнаруженных дефектов, их поиск, фильтрация, группировка;
- учет статуса дефектов, контроль времен их устранения согласно приоритетам.

Цели создания ПМСДиДИ:

- диагностика и оценка состояния дорог и дорожной инфраструктуры;
- построение планов и графиков планово-предупредительного проверок состояния дороги и дорожной инфраструктуры;
- предоставление объективной информации о состоянии дороги и дорожной инфраструктуры;
- отображение состояния и хода выполнения работ на диаграмме Ганта;
- автоматическое создание работ для обнаружения дефектов;
- формирование потребности в товарно-материальных ценностях под запланированные работы;
- предоставление информации о ходе выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту (отслеживание статусов, сроков, отметка выполнения работы);
- контроль исполнения предписаний и вспомогательной документации на всех этапах исполнения;
- формирование аналитических отчетов.

Для достижения поставленных целей решены следующие задачи:

- программно-технологическая доработка системы;
- доработка сервисов взаимодействия со смежными подсистемами и модулями ИТС Орловской городской агломерации;

Объектом автоматизации являются процессы (возможно реализованы) обеспечения деятельности диспетчерской службы мониторинга состояния дороги и дорожной инфраструктуры.

В рамках выполнения работ по доработке ПМСДиДИ обеспечивается автоматизация следующих процессов:

- создание планов проверок и ремонтных работ, контроль выполнения работ;
- учет нормативного времени и стоимости выполнения работ;
- автоматическое создание работ для устранения обнаруженных дефектов;
- автоматическое создание предписания по дефектам, для устранения в ходе текущего ремонта;
- иерархическая связь проверок друг с другом и ремонтными работами;
- реализация выполнения требований модуля «Система обеспечения информационной безопасности».

Как видно из рисунка 4, ключевым модулем является сервис детектирования, который используя нейронную сеть, как одну из реализаций искусственного интеллекта позволяет анализировать видео и находить дефекты дорожного полотна и искусственных сооружений. Пример выявленного дефекта представлен на рисунке 5.

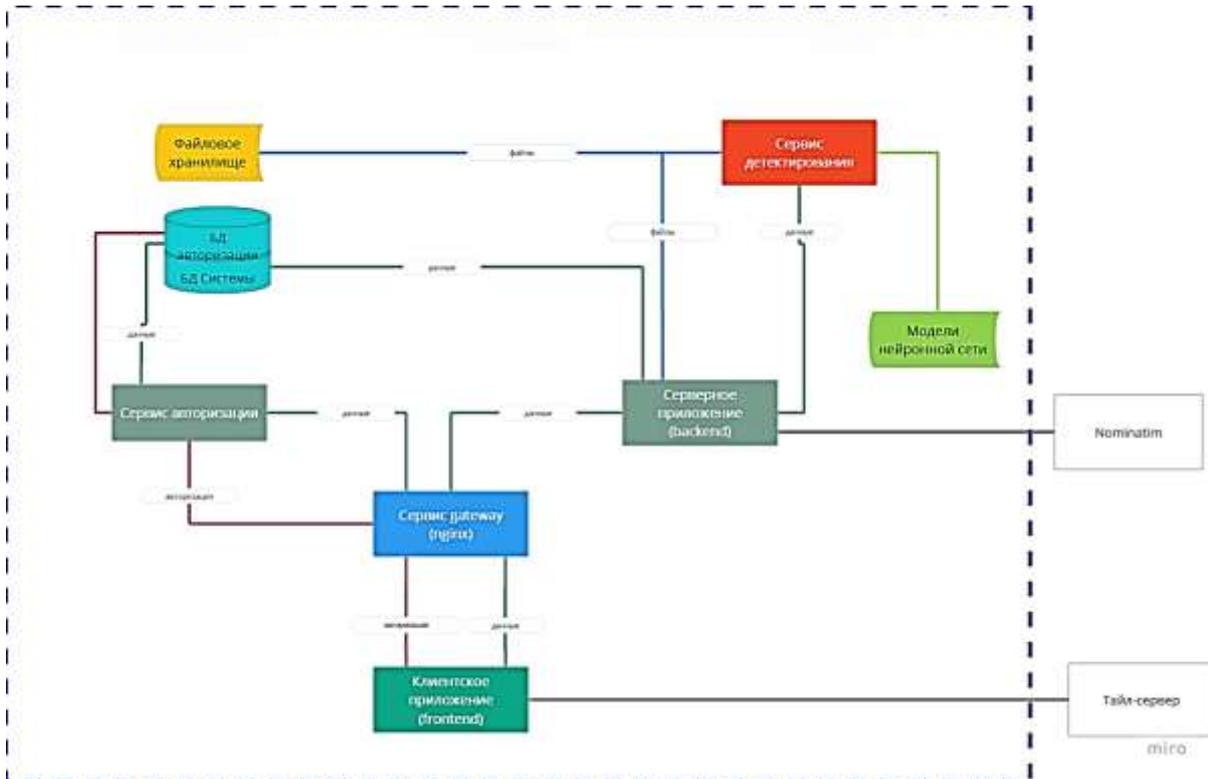


Рисунок 4 - Схема структуры функциональной ПМСДиД

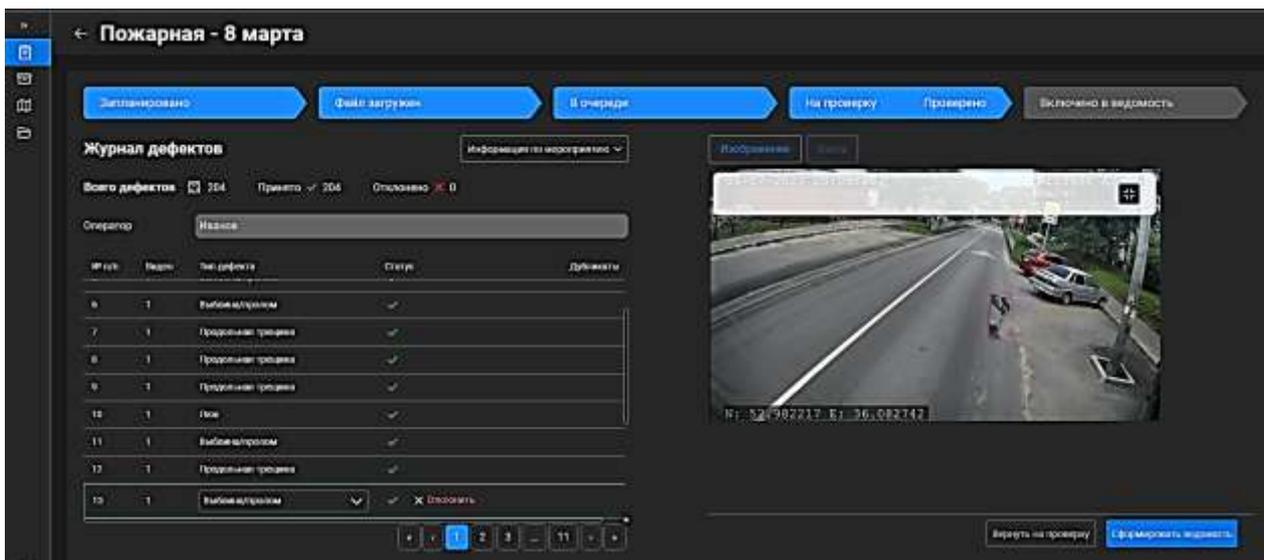


Рисунок 5 – Пример выявленного дефекта искусственным интеллектом

После анализа всего видео, система позволяет на карте просмотреть параметры, такие как дата и время съемки, адрес, количество выявленных дефектов, и его и трек.

Также на карте дефектов можно просмотреть все дефекты, выявленные за период. Для каждого дефекта можно посмотреть его местоположение, и посмотреть карточку дефекта с его параметрами и видеоклип дефекта.

Кроме того, можно фильтровать дефекты на карте по их типам.

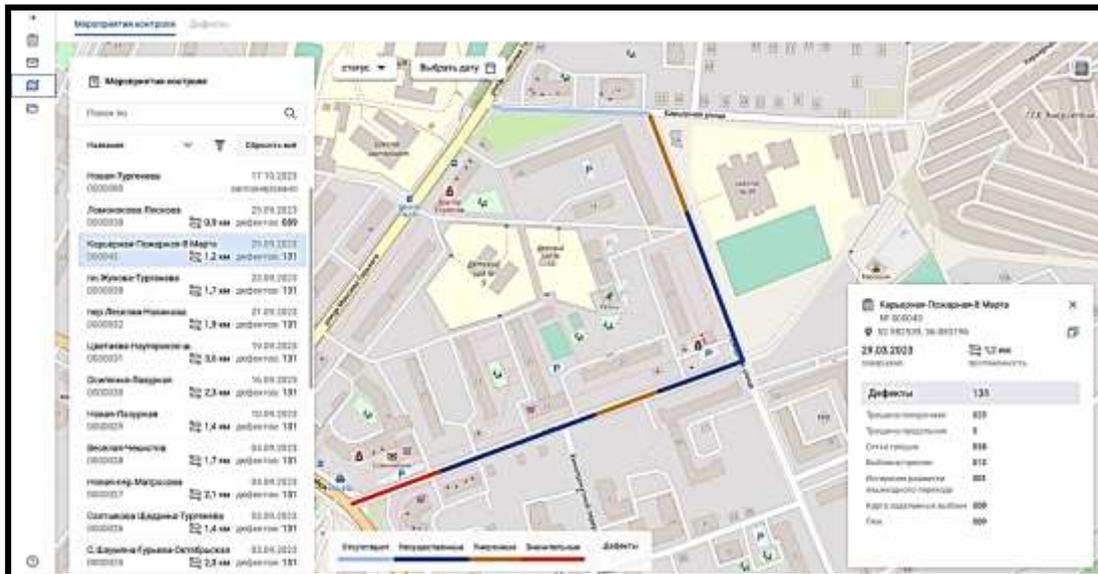


Рисунок 6 – Карта мероприятий контроля

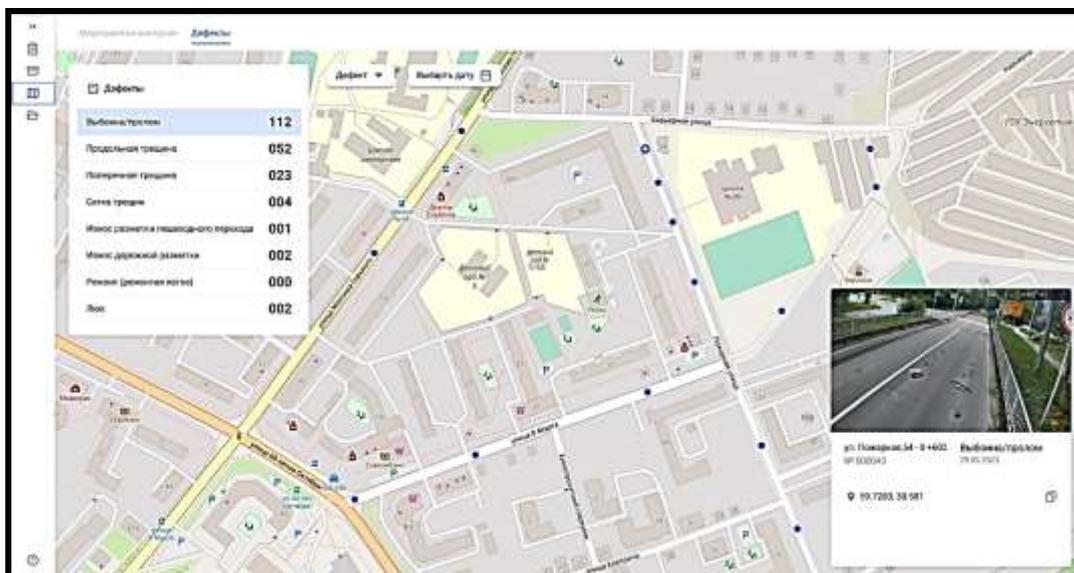


Рисунок 7 – Карта дефектов

Результаты и обсуждение

Подсистема диспетчерского управления служб содержания дорог внедрена в условиях Орловской городской агломерации в виде специализированного программного обеспечения «Скандор». Преимуществом данного программного обеспечения является возможность обработки видеозаписей, полученных из различных источников, как от камер установленных на специализированных дорожных лабораториях, коммунальной технике и пассажирском транспорте, так и от жителей городских агломераций.

Выводы

Комплексное развитие всех подсистем ИТС, является фактором, позволяющим объединить цели Указа Президента о развитии искусственного интеллекта и создание ИТС.

Представленное решение на базе Искусственного интеллекта, показало большой потенциал развития данного направления, и внедрение его во все подсистемы в дальнейшем. Данные мероприятия позволят существенно повысить эффективность и качество без-

опасных и качественных дорог, своевременно реагировать на выявленные проблемы, что положительно скажется и на уровне развития ОГА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении правил предоставления и распределения в 2020 - 2024 годах иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации в целях внедрения интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек, в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»: Постановление Правительства Российской Федерации от 21.12.2019г. №1762.
2. Об утверждении методики оценки и ранжирования локальных проектов в целях реализации мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги»: Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 25 марта 2020 г. п АК-60-р.
3. Бодров А.С., Кулев М.В., Девятина Д.Ш., Лобынцева О.А. Оценка готовности Орловской городской агломерации к внедрению интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №3(70). С. 64-72.
4. Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги»: Методика оценки и ранжирования локальных проектов в целях реализации мероприятия; утв. распоряжением Минтранса № АК-60-р от 25.03.2020 г.
5. Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»: Методические рекомендации по разработке заявок (включая локальные проекты по созданию и модернизации интеллектуальных транспортных систем) субъектов Российской Федерации на получение иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета бюджетами субъектов Российской Федерации в целях реализации мероприятия (Распоряжение Минтранса РФ АК-74-р от 21.03.2022г.)
6. ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем.
7. Жанказиев С.В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.01. М., 2012. 450 с.
8. Новиков А.Н., Пржибыл П., Катунин А.А. Перевозки как наука // Мир транспорта и технологических машин. 2014. №3(46). С. 96-109.
9. Корягин М.Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. Новосибирск: Наука, 2011. 140 с.
10. Новиков А.Н., Севостьянов А.Л., Катунин А.А., Кулев А.В. Применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для повышения эффективности функционирования городского общественного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2013. №1(40). С. 85-90.
11. Ломакин Д.О. Мезоскопические модели транспортных потоков / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Орел. 2016. С. 53-59.
12. Новиков А.Н., Васильева В.В., Катунин А.А. Прогнозирование воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду урбанизированных территорий на основе моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2016. №2(55). С. 210-215.
13. Новиков А.Н., Ивашук О.А., Васильева В.В. Управление воздействием потоков автотранспорта на качество акустической среды города на основе информационных технологий // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2007. №4-16. С. 226-232.
14. Новиков А.Н., Голенков В.А., Баранов Ю.Н., Катунин А.А., Бодров А.С. Совершенствование дорожной сети для повышения их пропускной способности с использованием средств транспортной телематики // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. №6. С. 128-139.
15. Новиков А.Н., Катунин А.А., Кулев А.В., Пешехонов М.В. Сравнение систем определения местоположения и их применение в интеллектуальных транспортных системах // Мир транспорта и технологических машин. 2013. №2(41). С. 109-113.
16. Novikov A.N., Vasileva V.V., Katunin A.A. Application of environmental monitoring systems as part of intelligent transport systems // Наука и техника в дорожной отрасли. 2014. №5. С. 49-51

17. Sevryugina N.S., Melikhova S.B., Volkov E.A. The solution of applied problems of optimization of stability of system «environment-man-technics» //Modern applied science. 2015. Т. 9. №3. С. 200-207.

18. Savrasov M. Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic level: doctoral thesis. Riga, 2013. 161 p.

19. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Driver's reaction time in evaluation of the road capacity // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725-726. 2015. P. 1212-1217.

20. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Research of influence of time of reaction of driver on the calculation of the capacity of the highway // Transport problems. Vol. 10. P. 53-59.

Шевляков Александр Николаевич

Закрытое акционерное общество Группа компаний «НАВИГАТОР»

Адрес: 302006, Россия, г. Орел, Московская ул, д. 155

Руководитель отдела

E-mail: nvg@ntcnvg.ru

A.N. SHEVLYAKOV

THE SUBSYSTEM OF DISPATCHING THE MANAGEMENT OF ROAD MAINTENANCE SERVICES. EXPERIENCE AND PROSPECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION

Abstract. The author of the article provides examples of the practical implementation of an ecosystem that includes technological products for detecting defects in the roadway. The problems of their implementation are described, the architecture of the module that monitors the roadway is developed, the results of the implementation of subsystems for dispatching the management of road maintenance services, in terms of the use of artificial intelligence, are presented.

Keywords: intelligent transport systems, artificial intelligence, management of road maintenance services

BIBLIOGRAPHY

1. Ob utverzhdenii pravil predostavleniya i raspredeleniya v 2020 - 2024 godakh inykh mezhbyudzhethnykh transfertov iz federal'nogo byudzheta byudzheta sub'ektov Rossiyskoy Federatsii v tselyakh vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vkluchayushchikh goroda s naseleniem svyshe 300 tysyach chelovek, v ramkakh federal'nogo proekta «Obshchesistemnye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva» gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii «Razvitie transportnoy sistemy»: Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 21.12.2019g. №1762.

2. Ob utverzhdenii metodiki otsenki i ranzhirovaniya lokal'nykh projektov v tselyakh realizatsii meropriyatiya «Vnedrenie intellektual'nykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vkluchayushchikh goroda s naseleniem svyshe 300 tysyach chelovek» v ramkakh federal'nogo proekta «Obshchesistemnye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva» natsional'nogo proekta «Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi»: Rasporyazhenie Ministerstva transporta Rossiyskoy Federatsii ot 25 marta 2020 g. n AK-60-r.

3. Bodrov A.S., Kulev M.V., Devyatina D.SH., Lobyntseva O.A. Otsenka gotovnosti Orlovskoy gorodskoy aglomeratsii k vnedreniyu intellektual'nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №3(70). S. 64-72.

4. Vnedrenie intellektual'nykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vkluchayushchikh goroda s naseleniem svyshe 300 tysyach chelovek v ramkakh federal'nogo proekta «Obshchesistemnye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva» natsional'nogo proekta «Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi»: Metodika otsenki i ranzhirovaniya lokal'nykh projektov v tselyakh realizatsii meropriyatiya; utv. rasporyazheniem Mintransa № AK-60-r ot 25.03.2020 g.

5. Vnedrenie intellektual'nykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vkluchayushchikh goroda s naseleniem svyshe 300 tysyach chelovek» v ramkakh federal'nogo proekta «Obshchesistemnye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva» gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii «Razvitie transportnoy sistemy»: Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 21.12.2019g. №1762.

darstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii «Razvitie transportnoy sistemy»: Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke zayavok (vkluychaya lokal'nye proekty po sozdaniyu i modernizatsii intellektual'nykh transportnykh sistem) sub"ektov Rossiyskoy Federatsii na polucheniye inykh mezhbyudzhetykh transfertov iz federal'nogo byudzheta byudzheta sub"ektov Rossiyskoy Federatsii v tselyakh realizatsii meropriyatiya (Rasporyazhenie Mintransa RF AK-74-r ot 21.03.2022g.)

6. GOST R 56294-2014. Intellektual'nye transportnye sistemy. Trebovaniya k funktsional'noy i fizicheskoy arkhitekturam intellektual'nykh transportnykh sistem.

7. Zhankaziev S.V. Nauchnye osnovy i metodologiya formirovaniya intellektual'nykh transportnykh sistem v avtomobil'no-dorozhnykh kompleksakh gorodov i regionov: dis. ... d-ra. tekhn. nauk: 05.22.01. M., 2012. 450 s.

8. Novikov A.N., Przhibyl P., Katunin A.A. Perevozki kak nauka // *Мир транспорта и технологических машин*. 2014. №3(46). S. 96-109.

9. Koryagin M.E. Ravnovesnye modeli sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta v usloviyakh konflikta interesov. Novosibirsk: Nauka, 2011. 140 s.

10. Novikov A.N., Sevost'yanov A.L., Katunin A.A., Kulev A.V. Primeneniye intellektual'nykh transportnykh sistem (ITS) dlya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo obshchestvennogo transporta // *Мир транспорта и технологических машин*. 2013. №1(40). S. 85-90.

11. Lomakin D.O. Mezoskopicheskie modeli transportnykh potokov / Pod obshchey redaktsiyey A.N. Novikova // *Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Orel. 2016. S. 53-59.

12. Novikov A.N., Vasil'eva V.V., Katunin A.A. Prognozirovaniye vozdeystviya avtotransportnykh potokov na akusticheskuyu sredy urbanizirovannykh territoriy na osnove modelirovaniya // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2016. №2(55). S. 210-215.

13. Novikov A.N., Ivashchuk O.A., Vasil'eva V.V. Upravleniye vozdeystviem potokov avtotransporta na kachestvo akusticheskoy sredy goroda na osnove informatsionnykh tekhnologiy // *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport*. 2007. №4-16. S. 226-232.

14. Novikov A.N., Golenkov V.A., Baranov Yu.N., Katunin A.A., Bodrov A.S. Sovershenstvovaniye dorozhnoy seti dlya povysheniya ikh propusknoy sposobnosti s ispol'zovaniem sredstv transportnoy telematiki // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2014. №6. S. 128-139.

15. Novikov A.N., Katunin A.A., Kulev A.V., Peshekhonov M.V. Sravneniye sistem opredeleniya mestopolozheniya i ikh primeneniye v intellektual'nykh transportnykh sistemakh // *Мир транспорта и технологических машин*. 2013. №2(41). S. 109-113.

16. Novikov A.N., Vasileva V.V., Katunin A.A. Application of environmental monitoring systems as part of intelligent transport systems // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2014. №55. S. 49-51

17. Sevryugina N.S., Melikhova S.B., Volkov E.A. The solution of applied problems of optimization of stability of system «environment-man-technics» // *Modern applied science*. 2015. T. 9. №3. C. 200-207.

18. Savrasov M. Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic level: doctoral thesis. Riga, 2013. 161 p.

19. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Driver's reaction time in evaluation of the road capacity // *Applied Mechanics and Materials*. Vols. 725-726. 2015. R. 1212-1217.

20. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Research of influence of time of reaction of driver on the calculation of the capacity of the highway // *Transport problems*. Vol. 10. R. 53-59.

Shevlyakov Aleksandr Nikolayevich

Closed Joint Stock Company Group of Companies «NAVIGATOR»

Address: 302006, Russia, Orel, Moskovskaya, 155

Head of department

E-mail: nvg@ntcnvg.ru

Научная статья

УДК 656.132

doi:10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-140-146

А.Д. ЕФИМОВ, А.О. АЛИБАГАНДОВ, Ю.И. САВЧЕНКО, Е.В. СКРИННИКОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ КОММЕРЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

***Аннотация.** Выполнен анализ методик оценки безопасности движения на участках автомобильных дорог маршруту движения коммерческих транспортных средств. Предложена универсальная методика, учитывающая комплексное влияние всех компонентов системы ВАДС, на обеспечение качества процесса перевозок и сохранности груза в сложившихся условиях.*

***Ключевые слова:** дорожно-транспортные происшествия, улично-дорожная сеть, аварийно-опасные ситуации, ВАДС, маршруты движения, методика*

Введение

Стратегической задачей для большинства логистических компаний становится безопасность движения коммерческих транспортных средств по маршруту, так как она напрямую влияет на надежность и своевременность поставки грузов, что является ключевым фактором для поддержания доверительных отношений между клиентами и потребителями [1].

Разработка эффективного метода оценки безопасности по маршруту движения коммерческих транспортных средств становится актуальной задачей в современных исследованиях данной области [2]. Необходимость в таких исследованиях обусловлена потребностью в оптимизации маршрутов, повышении безопасности перевозок и непрерывном функционировании логистических процессов [3].

Материал и методы

В настоящее время подходы для оценки безопасности движения на участках улично-дорожной сети (УДС) классифицируют по анализируемым компонентам системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» (ВАДС) в следующие группы [4]:

- анализ данных о дорожно-транспортных происшествиях (ДТП);
- учет параметров дорожных условий и скоростных характеристик транспортных средств;
- исследование конфликтных ситуаций на перекрестках;
- анализ поведения водителя при перевозке грузов по определенному маршруту;
- применение комплексных показателей для оценки безопасности дорожного движения.

Преимуществом первой группы методов является применение статистических данных в качестве объективной основы для оценки безопасности дорожного движения, поскольку они основаны на фактических данных о дорожно-транспортных происшествиях (ДТП). Основным их недостатком является необходимость в проведении анализа обширного объема информации, тем самым затрудняется оперативное реагирование на актуальные проблемы безопасности движения.

Вторая группа позволяет адаптировать рекомендации и меры по безопасности к конкретным условиям движения и характеристикам дороги. При оценке динамических изменений в дорожных условиях, таких как погодные явления или временные ограничения трафика, эти методы могут оказаться менее эффективными.

Третья группа методов, основанная на количественной оценке данных, определяющих участки слияний, отклонений или разделения транспортных потоков, позволяет оценить сложность транспортного узла. В данной группе факторы возможного перестроения на пересечении дорог, а также время реакции водителя не учитываются.

Четвертая группа методов учитывает возраст, уровень вождения, психоэмоциональное состояние и прочие факторы водителя, необходимые для разработки мер безопасности дорожного движения по маршруту с целью предотвращения возможных инцидентов. Недостатком практически всех методик данной группы является ограниченность в точности анализа, поскольку некоторые критерии, такие как психоэмоциональное состояние, могут быть подвержены субъективной оценке.

Пятая группа методов позволяет объединить различные аспекты и факторы, обеспечивая более полное представление о безопасности дорожного движения. Недостатком является сложность учета влияния каждого комплексного показателя для системного анализа движения на УДС [5].

Теория и расчет

Выполним более детальное исследование влияния каждого компонента системы ВАДС на безопасность движения по участкам автомобильных дорог в комплексном взаимодействии при реализации транспортных процессов. Как было установлено в работе [6] до 45 % всех ДТП приходится на подсистему «водитель». Водители в процессе выполнения трудовых функций регулярно подвергаются стрессовым нагрузкам, которые могут стать причиной ДТП. При этом важное значение имеет возраст и опыт водителя которые определяют его способность реагировать на изменяющиеся условия дорожной обстановки.

Проведенные в работах [7] исследования показывают, что с увеличением стажа вождения более пяти лет у водителей формируются достаточные умения и навыки, позволяющие рефлекторно действовать при стрессовых ситуациях и снижать риск возникновения опасных дорожно-транспортных ситуаций [8]. Однако, как было установлено в работе [9], с увеличением возраста человека существенно изменяются параметры его реакции на внешние воздействия. В возрасте до 40 лет водители в большей мере подвержены эмоциональному срыву и провоцированию возникновения опасных дорожно-транспортных ситуаций. В тоже время у водителей старше 50 лет фиксируется увеличение времени реакции, что также негативно отражается на безопасности дорожного движения. Влияние возраста и опыта вождения на вероятность возникновения аварий оценивается с помощью коэффициентов K_w и K_s соответственно, значения которых приведены в таблице 1-2 [9].

Таблица 1 – Значение коэффициента K_w

Возрастная группа водителя	K_w
16-21 год	1,25
21-30 лет	1,15
30-40 лет	0,99
40-50 лет	0,95
50-60 лет	0,99
60-70 лет	1,05
Свыше 70 лет	1,1

Таблица 2 – Значение коэффициента K_s

Стаж управления транспортным средством	K_s
До 3 лет	1,4
3-5 лет	1,15
5-10 лет	1,11
10-15 лет	1,12
Свыше 15 лет	1,14

Не меньшее влияние на безопасность движения оказывает и плохое самочувствие водителей [10]. Различные жалобы на психофизиологическое состояние приводят к тому, что он не может сконцентрироваться на управлении транспортным средством, тем самым создавая конфликтные ситуации на проезжей части. В работе [11], ведено понятие и проведены исследования влияния показателя относительного коэффициента аварийности (K_a) на безопасность движения. В результате авторами были получены значения показателя K_a при различных жалобах на самочувствие у водителей транспортных средств (таблица 3) [12].

Согласно выводам, сделанным в работах [13], значительное воздействие на безопасность дорожного движения оказывают и хронические заболевания и неврозы. Влияние раз-

личных хронических заболеваний на риск возникновения аварийно-опасных ситуаций характеризуется коэффициентом K_b , значения которого приведены в таблице 4. Так, авторами в работе [14], было установлено, что хронические заболевания бронхов и легких в 1,8 раза повышают риск возникновения ДТП, так как водитель не может сконцентрироваться на процессе управления автомобилем, и вынужден постоянно отвлекаться, что приводит к увеличению времени реагирования на изменения в транспортном потоке [15].

Таблица 3 – Значение коэффициента K_a

Характер жалоб на самочувствие	K_a
Рассеянность	1,8
Раздражительность	1,7
Снижение внимания	1,6
Сонливость	1,6
Головная боль	1,4
Сухость во рту	1,4
«Песок» в глазах	1,4
Головокружение	1,3
Бессонница	1,2
Слабость	1,2

Таблица 4 – Значение коэффициента K_b

Характер заболевания	K_b
Хронические заболевания бронхов и легких	1,8
Неврозы	1,5
Язвенная болезнь	1,4
Радикулит	1,35
Острые боли	1,3
Хронические гастриты	1,25
Сердечно-сосудистые заболевания	1,2

Одним из малоисследованных факторов, влияющих на вероятность возникновения ДТП является возраст грузовых транспортных средств. Нами были проведены исследования взаимосвязи между возрастом грузового коммерческого транспорта и частотой ДТП за период с 2015 по 2023 год на всей территории Российской Федерации. В результате мы ввели понятие возрастного коэффициента аварийности грузового транспортного средства – $K_{автi}$. Для его расчета определяем частоту попадания в ДТП грузовых автомобилей возрастных категорий от 0 до 20 лет с частотой 5 лет:

$$N_{автi} = \frac{N_j}{\sum_{i=1}^n N_i} \tag{1}$$

где N_j – количество ДТП определенного возраста грузового средства за i -й год;

N_i – количество ДТП в i -м году для определенного возраста грузового транспорта.

Полученные результаты расчета $N_{автi}$ представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Распределение коэффициентов ДТП по годам в зависимости от возраста грузового транспорта

Возраст	Распределение коэффициентов ДТП по годам								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0-5	0,31	0,26	0,22	0,22	0,23	0,25	0,26	0,25	0,23
6-10	0,26	0,30	0,30	0,28	0,29	0,27	0,24	0,22	0,21
11-15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,20	0,20	0,22	0,23	0,22
16-20	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,14	0,17
Старше 20	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,16

Для вычисления усреднённых значений $N_{автi}$ за каждый исследуемый интервал времени была применена оценка математического ожидания случайной величины, которая определяется по следующей формуле:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n},$$

где N_i – частота ДТП за определенный возраст грузового транспорта;

n – общее количество коэффициентов ДТП за определенный возраст грузового транспорта.

Корреляционная зависимость коэффициентов ДТП представлена на рисунке 1.

Результаты и обсуждение

На основании полученных данных в качестве условной единицы коэффициента аварийности грузового транспортного средства нами было взято значение \bar{N} для возрастной группы от 0 до 5 лет. Рассчитанные значения $K_{автi}$ представлены в таблице 6.

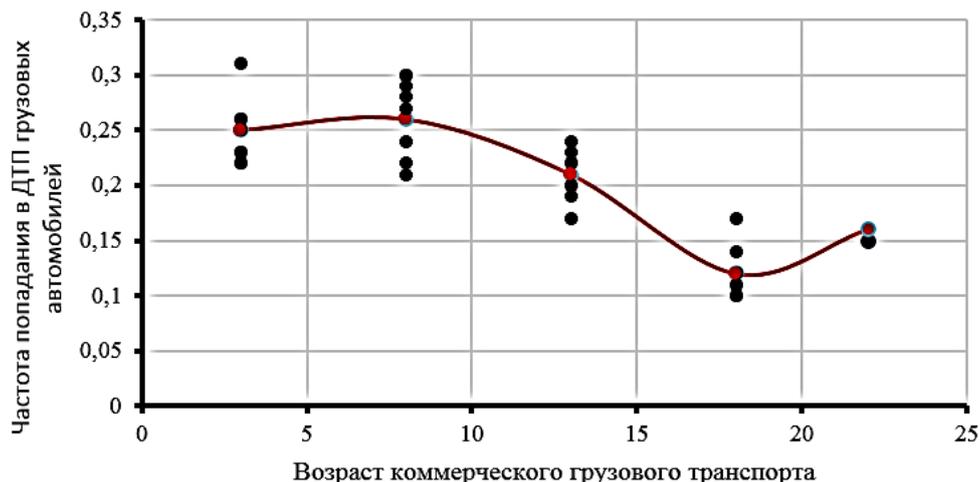


Рисунок 1 – Корреляционная зависимость возраста коммерческого грузового транспорта от частоты попадания в ДТП грузовых автомобилей

Таблица 6 - Значение коэффициентов ДТП по возрасту грузового транспорта

Возрастная группа грузового транспорта	Коэффициент ДТП
0-5 лет	1,0
6-10 лет	1,1
11-15 лет	0,8
16-20 лет	0,5
Старше 20 лет	0,6

В процессе движения транспортного средства по улично-дорожной сети возникают различные аварийно-опасные ситуации, количество которых пропорционально сложности маршрута. Поэтому главной задачей служб организации перевозок и обеспечения безопасности движения является минимизация подобных ситуаций на этапе планирования процесса перевозок. В общем случае возникновение любой аварийно-опасной ситуации описывается распределением Пуассона [16]:

$$P_{k \geq 1}(t) = \sum_{k=1}^n \frac{(\lambda_n t)^k}{k!} e^{-\lambda_n t}, \tag{2}$$

где λ_n – параметр, характеризующий потенциально возможные конфликтные ситуации;
 t – временной интервал исследований;
 k – количество видов аварийно-опасных ситуаций.

Параметр k определяется в конкретных сложившихся условиях и зависит от сложности исследуемого участка УДС.

Основываясь на предыдущих исследованиях, адаптируем выражение (2) с учетом влияние подсистемы «водитель» и «автомобиль».

Итоговое выражение для оценки безопасности участка маршрута движения грузового транспортного средства будет выглядеть следующим образом:

$$P_d(t) = \sum_{k=1}^n \frac{(N_n t)^k}{k!} e^{-N_n t} K_a K_b K_w K_s K_{автi},$$

где N_n – потенциально возможное количество аварийно-опасных ситуаций на данном участке дороги в период времени t .

Результатом расчета параметра $P_d(t)$ должна стать исходная информация для ответственных лиц о безопасности процесса перевозки по данному маршруту, на данном транспортном средстве и именно этим водителем.

В качестве оценочной шкалы анализа безопасности маршрутов движения транспортных средств, осуществляющих перевозку грузов, и алгоритма действий ответственных лиц, введем следующие положения:

1) при $P_d(t) > 75\%$ необходимо выполнить детальный анализ дорожных условий на маршруте и соответствие ему типа подвижного состава;

2) при $50\% < P_d(t) \leq 75\%$ стоит рассмотреть возможность назначения на маршрут другого водителя, с более высокими показателями психофизиологического состояния на данный момент времени;

3) при $P_d(t) \leq 50\%$ достаточно рассмотреть варианты использования подвижного состава с различными эксплуатационными характеристиками.

В качестве примера рассмотрим участок маршрута, по которому осуществляется движение общественного транспорта и велосипедистов, имеются пересечения с автомобильными дорогами и железной дорогой в одном уровне и временные стоянки автомобилей. В таблице 7 представлены результаты расчета показателя оценки безопасности данного маршрута движения в трех вариациях:

- без учета влияния психофизиологического состояния водителя и эксплуатационных характеристик транспортного средства;
- с учетом влияния психофизиологического состояния водителя;
- с учетом влияния психофизиологического состояния водителя и эксплуатационных характеристик транспортного средства.

Таблица 7 – Результаты показателя оценки безопасности маршрута движения коммерческих транспортных средств

Вероятность возникновения аварийно-опасных ситуаций на маршруте движения	Номер участка								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{k \geq 1}(t)$	14	18	23	14	23	19	19	17	14
$P_d(t)$ без учета возраста транспортного средства	43	56	68	43	68	58	56	53	43
$P_d(t)$	47	62	75	47	75	64	62	58	47

Вывод

Таким образом, выполненные расчеты подтверждают существенное влияние на вероятность возникновения аварийно-опасных ситуаций психофизиологического состояния водителя и возраста грузового транспортного средства. Анализируя опасные участки маршрутов движения грузового подвижного состава должностные лица автотранспортных предприятий смогут выбирать наиболее эффективный комплекс мероприятий по обеспечению качества перевозок и сохранности груза в сложившихся условиях, в том числе с ограничительным перечнем управляющих воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефедов В.В., Скринников Е.В., Ефимов А.Д., Житников С.В. Оценка пропускной способности участков улично-дорожной сети на основе имитационного моделирования // Инженерный вестник Дона. 2022. № 8. С. 249-258. EDN HQXAQT.
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. Пумбрасова Н.В., Упадышева Е.В. Проблемные аспекты регулирования тарифов при организации регулярных пассажирских перевозок на муниципальных маршрутах // Вестник Екатеринбургского института. 2021. №1(53). С. 66-75. EDN RERUYE.
5. Андрушак И.В., Петров Д.Н., Рехалов Р.О. Оптимизация дорожного движения на участке улично-дорожной сети посредством имитационного моделирования // Студенческий. 2021. №18-4(146). С. 37-40. EDN MBQCQM.
6. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., Хачатурян А.В. Планирование и организация грузовых автомобильных

перевозок на улично-дорожной сети мегаполисов // Инженерный вестник Дона. 2012. №2(20). С. 737-741. EDN PCRRJT.

7. Исаева Е.И., Басков В.Н. Энтропия как модель прогноза загруженности транспортной сети // Мир транспорта и технологических машин. Орел. 2016. №4(55). С. 111-117. EDN XDNBJP.

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. Т. 1015. DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032127.

9. Кашталинский А.С., Петров В.В. Влияние дорожно-транспортных факторов на неравномерность транспортных потоков в городах // Вестник ИргТУ. 2016. №1(108). С. 116-123. EDN VHISPF.

10. Рожков М.А., Шаловал Ж.А. Практика применения организационно-технологических средств обеспечения безопасности дорожного движения в регионе // MODERN SCIENCE. 2022. №6-4. С. 143-150. EDN NEPUHF.

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. Жакулин С.Ш. Применение инновационных технологий при расследовании нарушений правил дорожного движения или эксплуатации транспортных средств лицами, повлекших смерть человека // Современный ученый. 2023. №6. С. 310-319. EDN SBRRMI.

14. Тарасов Е.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А., Щиенко А.Н. Пример судебной автотехнической экспертизы по исследованию обстоятельств ДТП // Высокие технологии в строительном комплексе. 2021. №2. С. 116-124. EDN DJELR.

15. 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.

16. 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

Алибаганов 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

Скринников Евгений Валерьевич

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Адрес: 346400, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

К.т.н, доцент, заведующий кафедрой «Общие инженерные дисциплины»

E-mail: skrinnikov08@rambler.ru

A.D. EFIMOV, A.O. ALIBAGANDOV, Y.I. SAVCHENKO, E.V. SKRINNIKOV

**METHODOLOGIES FOR ASSESSING TRAFFIC SAFETY ALONG
THE ROUTE OF COMMERCIAL VEHICLES**

Abstract. The analysis of methods for assessing traffic safety on highway sections of commercial vehicle routes is carried out. A universal methodology that takes into account the complex influ-

ence of all components of the DCRE system on ensuring the quality of the transportation process and cargo safety in the current conditions is proposed.

Keywords: road accidents, street-road network, emergency-hazardous situations, DCRE, traffic routes, methodology

BIBLIOGRAPHY

1. Nefedov V.V., Skrinnikov E.V., Efimov A.D., Zhitnikov S.V. Otsenka propusknoy sposobnosti uchastkov ulichno-dorozhnoy seti na osnove imitatsionnogo modelirovaniya // Inzhenernyy vestnik Dona. 2022. № 8. S. 249-258. EDN HQXAQT.
2. Bakanov K.S., Ermaganbetov A.S. Costoyanie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya kak konkurentnoe preimushchestvo perevozchika na rynke regulyarnykh 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. Pumbrasova N.V., Upadysheva E.V. Problemnye aspekty regulirovaniya tarifov pri organizatsii regulyarnykh passazhirskikh perevozok na munitsipal`nykh marshrutakh // Vestnik Ekaterininskogo instituta. 2021. №1(53). S. 66-75. EDN RERUYE.
5. Andrushchak I.V., Petrov D.N., Rekhlov R.O. Optimizatsiya dorozhnogo dvizheniya na uchastke ulichno-dorozhnoy seti posredstvom imitatsionnogo modelirovaniya // Studencheskiy. 2021. №18-4(146). S. 37-40. EDN MBQCQM.
6. Kocherga V.G., Zyryanov V.V., Hachaturyan A.V. Planirovanie i organizatsiya gruzovykh avtomobil`nykh perevozok na ulichno-dorozhnoy seti megapolisov // Inzhenernyy vestnik Dona. 2012. №2(20). S. 737-741. EDN PCRRJT.
7. Isaeva E.I., Baskov V.N. Entropiya kak model` prognoza zagruzhennosti transportnoy seti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. Orel. 2016. №4(55). S. 111-117. EDN XDNBJP.
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. Kashtalinskiy A.S., Petrov V.V. Vliyanie dorozhno-transportnykh faktorov na neravnomernost` transportnykh potokov v gorodakh // Vestnik IrGTU. 2016. №1(108). S. 116-123. EDN VHISPF.
10. Rozhkov M.A., Shaloval ZH.A. Praktika primeneniya organizatsionno-tekhnologicheskikh sredstv obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v regione // MODERN SCIENCE. 2022. №6-4. S. 143-150. EDN HEPUHF.
11. Tsaregorodtseva E.A. O vozmozhnosti ispol`zovaniya vremennykh ryadov dorozhno-transportnoy aviarnosti // 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. Zhakulin S.SH. Primenenie innovatsionnykh tekhnologiy pri rassledovanii narusheniy pravil dorozhnogo dvizheniya ili ekspluatatsii transportnykh sredstv litsami, povlekshikh smert` cheloveka // Sovremennyy uchenyy. 2023. №6. S. 310-319. EDN SBRRMI.
14. Tarasov E.A., Volkov N.M., Degtev D.N., Nikitin S.A., Shchienko A.N. Primer sudebnoy avtotekhnicheskoy ekspertizy po issledovaniyu obstayatel`stv DTP // Vysokie tekhnologii v stroitel`nom komplekse. 2021. №2. S. 116-124. EDN DIJELR.
15. 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.
16. Efimov A.D., Biyushkin N.A. Razrabotka metodiki otsenki veroyatnosti vozniknoveniya aviarnopasnykh 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
Address: 346400, Russia, Novochoerkassk
Candidate of technical sciences
E-mail: e1984ad@mail.ru

Alibagandov Alibagand Omarovich

Platov South-Russian State Polytechnic University
Address: 346400, Russia, Novochoerkassk
Graduate student
E-mail: Alibagand1999@mail.ru

Savchenko Yuri Ivanovich

Platov South-Russian State Polytechnic University
Address: 346400, Russia, Novochoerkassk
Senior lecturer
E-mail: iusavchenko@mail.ru

Skrinnikov Evgeny Valeryevich

Platov South-Russian State Polytechnic University
Address: 346400, Russia, Novochoerkassk
Candidate of technical sciences
E-mail: skrinnikov08@rambler.ru

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; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию;
- 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 не менее 20-ти 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

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 \left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right) / d, \quad (1)$$

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 24.06.2024 г.
Дата выхода в свет 24.09.2024 г.
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,3
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 182

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95