

ISSN 2073-7432

МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 1-4(88) 2025

Научно-технический
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 1-4(88) 2025

Мир транспорта и технологических машин

Учредитель - федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
(ОГУ имени И.С. Тургенева)

<p>Главный редактор: 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>	<h2>Содержание</h2> <p><i>Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте</i></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>А.И. Горшков, Т.Л. Иванёха., Е.Н. Грибанов, К.В. Васильев Каталитическое окисление отходящих газов на алюмосиликатных катализаторах для повышения экологической безопасности транспорта..... 3</p> <p><i>Управление процессами перевозок</i></p> <p>Р.Н. Сафиуллин, Х.Тянь, Ю.Н. Кацуба, М.В. Богданов Модели и алгоритмы формирования интегрированной телематической автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов..... 10</p> <p>С.А. Жесткова Повышение эффективности сетевой доставки грузов на основе цифровой трансформации транспортно-логистических процессов... 18</p> <p><i>Эксплуатация автомобильного транспорта</i></p> <p>В.Г. Назаркин, А.В. Марусин, В.А. Полуэктов, И.Д. Марусина Генезис научных знаний о ремонте машин..... 25</p> <p>И.В. Арифуллин Комплексная ИТС технического обслуживания и обеспечения материально-технического снабжения специальных автомобилей, эксплуатируемых в аэропортах..... 31</p> <p>А.В. Груничев, М.Ю. Елагин, Э.А. Оганян, Р.Н. Хмелев Математическое моделирование электрической силовой установки автотранспортных средств..... 37</p> <p>Н.М. Филькин, Н.В. Далида, С.Н. Зыков, М.А. Тарасова Новая конструкция несущей системы (рамы) квадроцикла..... 44</p> <p>Д.А. Соколов, Д.О. Рогов Оптимизация работы транспортно-пересадочного узла с использованием методов имитационного моделирования..... 51</p> <p>С.В. Дорохин, Н.А. Загородний, А.С. Семькина, Р.В. Гринякин Особенности выбора величины служебного торможения АТС..... 59</p> <p>М.Ю. Карелина, М.Ю. Моница Оценка дорожно-транспортной аварийности на основе нормированных показателей..... 67</p> <p>К.А. Бычкова, А.В. Подкопаев, А.Г. Шевцова, В.В. Васильева Современные методы сбора и обработки данных о дорожно-транспортных происшествиях..... 74</p> <p>А.Ю. Родичев Разработка и внедрение интегрированной контрольно-измерительной системы для мониторинга износа подшипников скольжения... 81</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/mtitmt E-mail: srmmostu@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><i>Интеллектуальные транспортные системы</i></p> <p>А.Н. Шевляков Практический опыт интеграции подсистемы диспетчеризации управления службы содержания дорог в ИТС городской агломерации..... 91</p> <p>И.А. Новиков, Д.А. Лазарев, А.Г. Жихарев, В.С. Черных Разработка интеллектуальной системы обработки изображений при расследовании дорожно-транспортных происшествий..... 98</p> <p>В.К. Енокаев Применение метода сценариев при интеграции интеллектуальных транспортных систем..... 108</p>
<p>Подписной индекс: 16376 по объединенному каталогу «Пресса России» на сайтах www.prima-rg.ru и www.akc.ru</p>	<p><i>Логистические транспортные системы</i></p> <p>В.И. Сарбаев, С. Джованис, А.С. Гришин Методические основы прогнозирования спроса на автозапчасти в центрах технического обслуживания автомобилей..... 118</p>
<p>© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2025</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

№ 1-4(88) 2025

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

<p>Editor-in-Chief A.N. Novikov Doc.Eng., Prof</p> <p>Associates Editor V.V. Vasileva Can. Eng. S.A. Rodimzev Doc. Eng.</p>	<h2>Contents</h2> <p><i>Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport</i></p>
<p>Editorial Board: E.V. Ageev Doc. Eng., Prof. (Russia) I.E. Agureev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.N. Baskov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.M. Vlasov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.N. Glagolev Doc. Eng., Prof. (Russia) M. Demic Doc. Eng., Prof. (Serbia) A.S. Denisov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.A. Evtyukov Doc. Eng., Prof. (Russia) L. Żakowska Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland) S.V. Zhankaziev Doc. Eng., Prof. (Russia) N.S. Zaharov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.V. Zyryanov Doc. Eng., Prof. (Russia) T.Y. Matkerimov Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan) O. Prentkovskis Doc. Eng., Prof. (Lithuania) P. Pribyl Doc. Eng., Prof. (Czech Republic) I.N. Pugachev Doc. Eng. (Russia) A.E. Pushkarev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.I. Rassoha Doc. Eng., Prof. (Russia) A.N. Rementsov Doc. Edc., Prof. (Russia) Yu.N. Rizaeva Doc. Eng. (Russia) V.I. Sarbaev Doc. Eng., Prof. (Russia) Yu.V. Trofimenko Doc. Eng., Prof. (Russia) L.S. Trofimova Doc. Eng. (Russia) A. Szarata Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</p>	<p>A.I. Gorshkov, T.L. Ivanekha, E.N. Gribov, K.V. Vasiliev Catalytic oxidation of exhaust gases on aluminosilicate catalysts to improve the environmental safety of transport..... 3</p> <p><i>Management of transportation processes</i></p> <p>R.N. Safiullin, H. Tian, Yu.N. Katsuba, M.V. Bogdanov Models and algorithms for the formation of an integrated telematic automated control system for road transport of dangerous goods..... 10</p> <p>S.A. Getzkova Improved efficiency of cargo delivery network based on the digital transformation of transport and logistics..... 18</p> <p><i>Operation of motor transport</i></p> <p>V.G. Nazarkin, A.V. Marusin, V.A. Poluektov, I.D. Marusina Genesis of scientific knowledge about machine repair..... 25</p> <p>I.V. Arfollin Comprehensive its for maintenance and logistics of special vehicles operated at airports..... 31</p> <p>A.V. Grunichev, M.Y. Elagin, E.A. Oganyan, R.N. Khmelev Mathematical modeling of the electric power plant of motor vehicles..... 37</p> <p>N.M. Filkin, N.V. Dalida, S.N. Zykov, M.A. Tarasova New design of the supporting system (frame) atv..... 44</p> <p>D.A. Sokolov, D.O. Rogov Optimization of transport hub operation using simulation modeling methods..... 51</p> <p>S.V. Dorokhin, N.A. Zagorodny, A.S. Semykina, R.V. Grinyakin Features of choosing the value of service braking of a vehicle..... 59</p> <p>M.Yu. Karelina, M.Yu. Monina Road accident assessment based on standardized indicators..... 67</p> <p>K.A. Bychkova, A.V. Podkopaev, A.G. Shevtsova, V.V. Vasilyeva Modern methods of collecting and processing data on road traffic accidents..... 74</p> <p>A.Yu. Rodichev Development and implementation of an integrated control and measurement system for monitoring wear of plain bearings..... 81</p>
<p>Person in charge for publication: I.V. Akimochkina</p>	<p><i>Intelligent transport systems</i></p>
<p>Editorial Board Address: 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmistu@mail.ru</p>	<p>A.N. Shevlyakov Practical experience in integrating the subsystem of dispatching management of the road maintenance service in ITS urban agglomeration..... 91</p> <p>I.A. Novikov, D.A. Lazarev, A.G. Zhikharev, V.S. Chernykh The development of an intelligent imaging system for the traffic accidents investigation..... 98</p> <p>V.K. Enokayev Application of the scenario method in the integration of intelligent transport systems..... 108</p> <p><i>Logistic transport systems</i></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>V.I. Sarbaev, S. Tziouannis, A.S. Grishin Methodological foundations of forecasting demand for auto parts in car maintenance centers..... 118</p>
<p>Subscription index: 16376 in a union catalog «The Press of Russia» on sites www.pressa-rf.ru www.akc.ru</p>	
<p>© Registration. Orel State University, 2025</p>	

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

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

УДК 624

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-3-9

А.И. ГОРШКОВ, Т.Л. ИВАНЁХА., Е.Н. ГРИБАНОВ, К.В. ВАСИЛЬЕВ

КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТА

Аннотация. В работе синтезированы электрохимическим методом материалы на основе алюмосиликатов, проявляющие каталитические свойства. Каждый опытный образец исследован в реакциях фотокаталитической деструкции модельного органического соединения 4-[[4-(диэтиламино)фенил](фенил)метиле́н}-N,N-диэтилциклогекса-2,5-диен-1-иминия гидрооксалата, относящегося к трифенилметановому ряду. Показано, что полученные катализаторы проявляют высокую каталитическую активность: степень деструкции органических соединений составила $\square 90\%$ за 60 минут. Установлена зависимость фотокаталитической активности материалов от длины волны облучения, условий синтеза и текстурных характеристик полученных образцов. Предложен механизм каталитического разложения модельного органического соединения.

Ключевые слова: катализ, алюмосиликаты, экологическая безопасность, транспорт

Введение

Выхлопные газы автомобильного транспорта, использующего жидкое или газообразное топливо, представляют собой один из наиболее значимых антропогенных источников загрязнения атмосферы [1-7]. Их основными компонентами являются: оксиды углерода (CO , CO_2), азота (NO_x), диоксид серы (SO_2), частицы сажи, а также широкий спектр ароматических соединений, включая бензол, толуол и полициклические углеводороды. Последние две группы веществ, согласно исследованиям, обладают выраженным канцерогенным и мутагенным действием, представляя угрозу не только для экосистем, но и для здоровья человека [8-11].

Современные методы нейтрализации этих выбросов сталкиваются с рядом технологических ограничений. Например, сажевые фильтры эффективно улавливают твердые частицы, однако не решают проблему газообразных загрязнителей. Традиционные автомобильные катализаторы, основанные на металлах платиновой группы (Pt , Pd , Rh), хотя и обеспечивают окисление CO и углеводородов, демонстрируют низкую активность в отношении устойчивых ароматических соединений. Кроме того, их применение сопряжено с серьезными экономическими и экологическими проблемами: высокая стоимость редкоземельных металлов, быстрая дезактивация при контакте с соединениями серы, сложности утилизации отработанных элементов и невозможность восстановления каталитических свойств [12-16].

Альтернативным решением могут стать каталитические системы на основе алюмосиликатов – высокопористых материалов с иерархической структурой. Их уникальные свойства, такие как высокая удельная поверхность (до $500\text{-}1000\text{ м}^2/\text{г}$), термическая стабильность и возможность модифицирования (например, ионами переходных металлов, наночастицами оксидов), открывают перспективы для глубокого окисления даже наиболее стабильных ароматических соединений. Например, внедрение меди или церия в структуру алюмосиликатов усиливает их окислительную способность за счет синергетических эффектов [16-19].

Таким образом, переход на алюмосиликатные катализаторы может стать важным шагом в минимизации экологического следа транспорта, сочетая высокую эффективность, устойчивость и соответствие принципам «зеленой» химии.

Целью настоящей работы являлось получение и систематического изучения каталитической активности алюмосиликатов в реакциях фотокаталитической деструкции модельного ароматического соединения.

Материал и методы

Каталитическую активность алюмосиликатных катализаторов исследовали в реакциях фотодеструкции водно-спиртовых растворов 4-[[4-(диэтиламино)фенил](фенил)метиленил]-N,N-диэтилциклогекса-2,5-диен-1-иминия гидрооксалата ($C_{29}H_{34}N_2O_4$, бриллиантовый зеленый), относящегося к трифенилметановым соединениям в состав которых входят ароматические кольца. В качестве источника ультрафиолета использовали облучатель ТСХ 354/365 с длиной волны облучения 254 и 365 нм. Степень разложения определяли спектрофотометрическим методом с помощью спектрофотометра СФ-56 с приставкой диффузного отражения СДО-6. Катализаторы на основе алюмосиликатов синтезировали электрохимически в потенциостатическом режиме при напряжении от 8 В до 30 В. В качестве подложки использовали алюминиевую фольгу (А99) толщиной 100 мкм, которая предварительно обработана по методике [20]. В качестве электролитом использовали водные растворы силиката натрия (Na_2SiO_3) и гидроксида натрия (NaOH).

Теория

Теоретические модели, описывающие механизм и кинетику фотокаталитических процессов, способствуют разработке эффективных каталитических систем и синтезу материалов с необходимыми функциональными свойствами. Данные модели помогают объяснить механизмы деградации органических соединений, оптимизировать процессы очистки окружающей среды и, соответственно, повысить экологичность автомобильного транспорта. Рассмотрим некоторые из наиболее известных теоретических моделей:

а) *зонная теория полупроводников*. Основана на взаимодействии фотонов с электронной структурой катализатора. Поглощение света с энергией, превышающей ширину запрещенной зоны, генерирует электрон-дырочные пары, которые участвуют в образовании активных форм кислорода (OH^\bullet , $O_2^{\bullet-}$), окисляющих органические соединения;

б) *модель Ленгмюра-Хиншельвуда*. В данном приближении скорость реакции зависит от адсорбции реагентов и степени покрытия поверхности, т.е. она применима при условии лимитирующей стадии «сорбция/десорбция». Характер зависимости выражает уравнение:

$$v = \frac{k_{КС} C}{1 + K C},$$

где К – константа сорбции;

С – концентрация сорбируемого вещества;

в) *квантово-механическая модель*. В рамках которой возможно смоделировать или описать электронную структуру катализатора, пути реакций и их энергетические барьеры, что позволяет вести целенаправленный поиск материалов с улучшенным комплексом фотокаталитических свойств.

Результаты и обсуждение

В результате синтеза получены механически прочные пленки синтетических алюмосиликатов. Природа и морфология образцов установлены и исследованы нами ранее [21]. Из анализа данных, полученных методом ИК-спектроскопии, установлена природа образцов. Типичный ИК-спектр представлен на рисунке 1. Наиболее характерные полосы поглощения: при $1100-1250\text{ см}^{-1}$, которые соответствуют ассиметричным колебаниям групп Si-O-Si и Al-O-Al, а полосы поглощения в диапазоне $750-820\text{ см}^{-1}$ характерны для симметричных валентных колебаний данных групп. Высокое соотношение Si/Al дает снижение высоты пика около $3400-3700\text{ см}^{-1}$. Анализируя EDX – спектры образцов, установлено, что поверхностный и приповерхностные слои катализаторов содержат исключительно атомы кремния, алюминия, кислорода, которые распределены равномерно. Учитывая эти данные, можно сделать вывод, что полученные синтетические алюмосиликаты относятся к структурному типу MFI и FAU.

На каталитическую активность катализаторов влияют геометрические параметры поверхности. Средняя арифметическая шероховатость профиля R_a , характерные структурные элементы поверхности, толщина и удельная площадь поверхности исследована нами ранее [22]. Поверхности образцов, полученных при более высоких напряжениях 26-30 В, имеют

менее шероховатую поверхность и более упорядоченную структуру, а также наименьшую толщину.

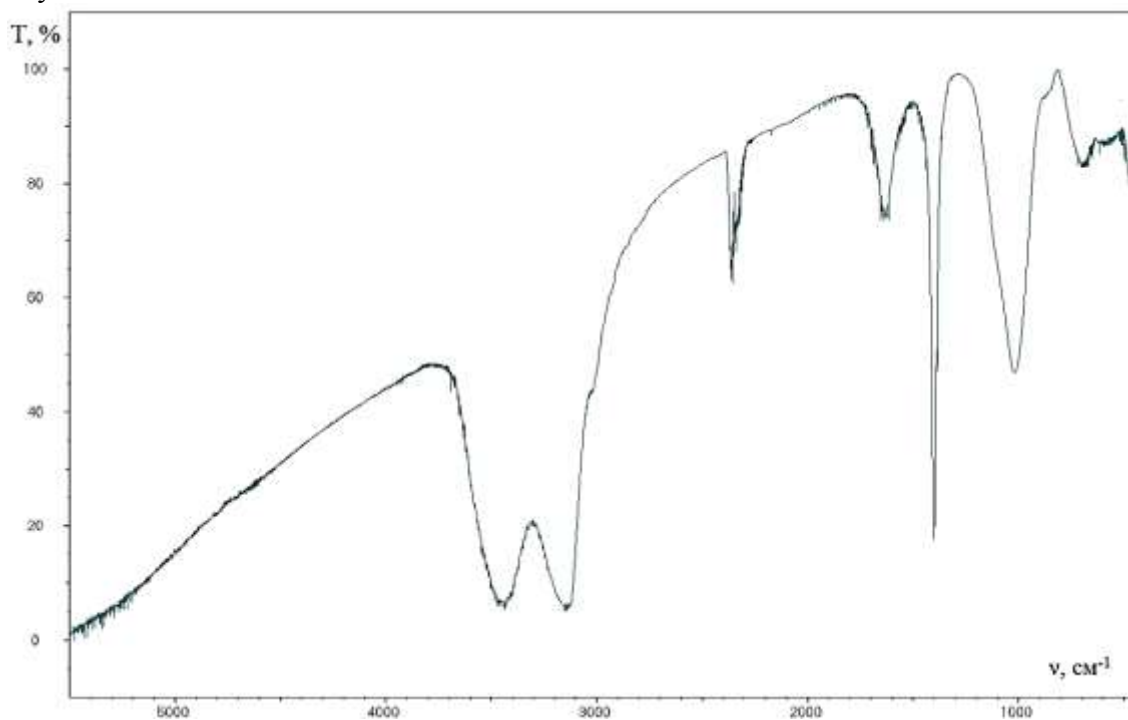


Рисунок 1 – Типичный ИК-спектр полученного образца алюмосиликата

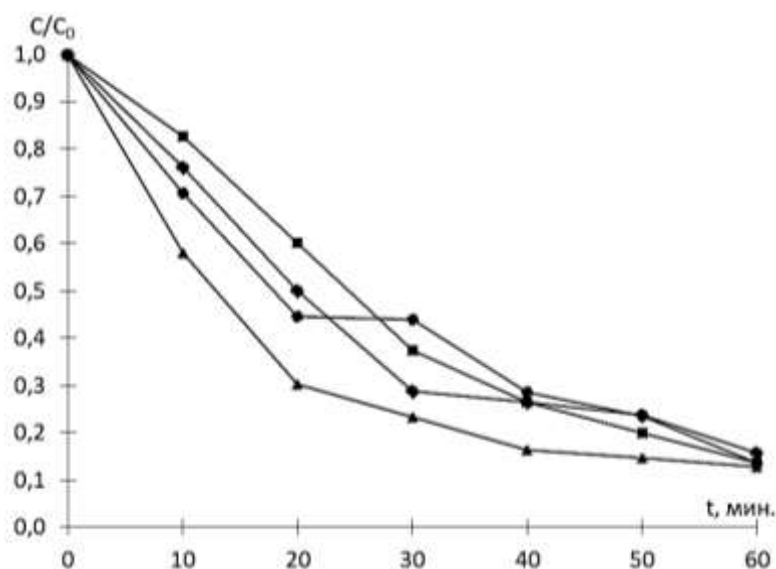


Рисунок 2 – Кинетические кривые фотокаталитического окисления

4-[[4 (диэтиламино)фенил](фенил)метиле́н}-N,N-диэтилциклогекса-2,5-диен-1-иминия гидрооксалата для образцов, полученных при напряжении 8 В (▲), 16 В (●), 26 В (◆), 30 В (■) при длине волны облучения 254 нм

Все полученные образцы катализаторов были исследованы в реакциях фотодеструкции 4-[[4-(диэтиламино)фенил](фенил)метиле́н}-N,N-диэтилциклогекса-2,5-диен-1-иминия гидрооксалата. Кинетические кривые разложения при облучении ультрафиолетом с длиной волны 254 нм представлены на рисунке 2 и с длиной волны 365 нм на рисунке 3. Константы скорости реакции фотодеструкции изучаемого органического соединения (k_{254} и k_{365} , соответственно, при длинах волн 254 нм и 365 нм) отличаются незначительно (табл. 1).

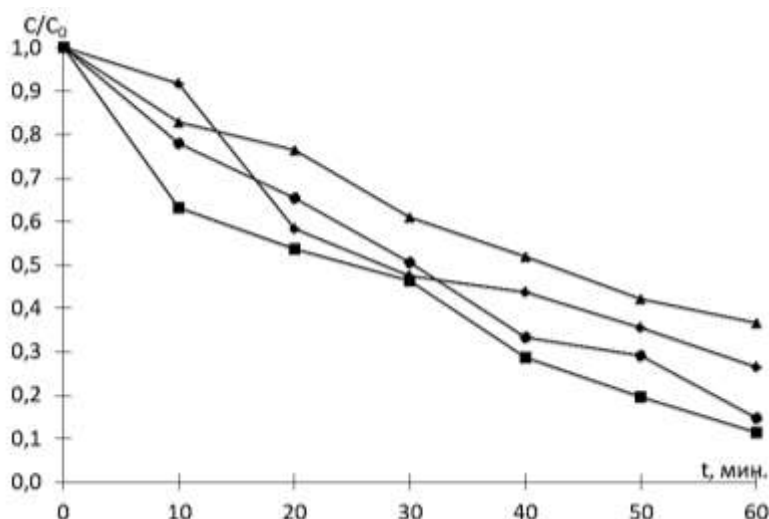


Рисунок 3 – Кинетические кривые фотокаталитического окисления

4-{[4 (диэтиламино)фенил] (фенил)метилена}-N,N-диэтилциклогекса-2,5-диен-1-иминия гидрооксалата для образцов, полученных при напряжении 8 В (▲), 16 В (●), 26 В (◆), 30 В (■) при длине волны облучения 365 нм

Таблица 1 – Константы скорости разложения бриллиантового зеленого на образцах плёнок алюмосиликата, полученных при разных значениях напряжения и концентрации гидроксида натрия

U, В	[NaOH]=0.05 М		[NaOH]=0.10 М	
	$k_{254}, \text{с}^{-1}$	$k_{365}, \text{с}^{-1}$	$k_{254}, \text{с}^{-1}$	$k_{365}, \text{с}^{-1}$
8	2.808	0.996	1.242	0.600
16	1.962	1.530	2.082	1.950
26	1.962	1.242	1.668	1.146
30	1.758	2.028	1.260	1.614

Анализ кинетических кривых позволяет сделать вывод о характере зависимости фотоокислительной деградации органического соединения – реакция псевдопервого порядка. Экспериментальные данные удовлетворительно аппроксимируются зависимостью, выраженной уравнением:

$$\ln(C/C_0) = -kt,$$

где k – константа скорости реакции;

C – текущая концентрация вещества в момент времени t ;

C_0 – начальная концентрация вещества.

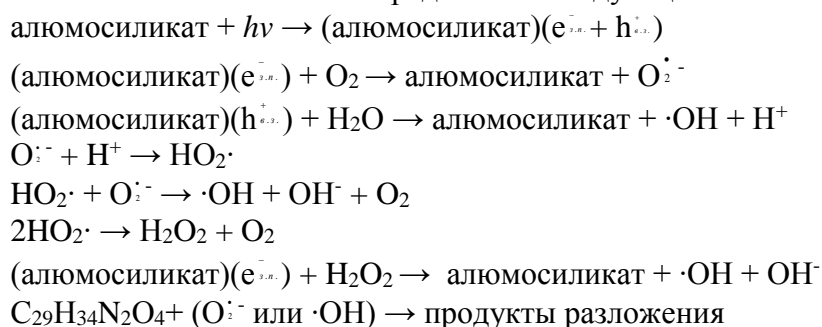
Для оценки вклада прямой фотохимической деградации модельного органического соединения проанализированы кинетические закономерности его разрушения под действием УФ-излучения ($\lambda = 254$ нм) на алюминиевых подложках с электролитически синтезированными покрытиями при напряжениях 26 В и 30 В в электролите, исключающем присутствие силикат-ионов. Установлено, что степень деградации ароматического соединения на таких образцах не превышает 30-34 %, что существенно ниже аналогичного показателя (~90 %) для систем на основе алюмосиликатных пленок. При этом из анализа кинетических кривых следует, что реакция имеет нулевой порядок, что указывает на лимитирующую роль светопоглощения в скорости разрушения ароматических молекул модельного органического соединения.

Сопоставление параметров реакций, характеризующих кинетику фотокаталитического окисления ароматического соединения, со структурно-морфологическими параметрами пленок алюмосиликатов (текстурные характеристики, ширина запрещенной зоны) демонстрирует прямую корреляционную зависимость между каталитической активностью материалов и величиной напряжения при электролизе во время их синтеза. Повышение каталитической активности плёнок можно объяснять увеличением удельной поверхности материала при

росте напряжения и повышением плотности активных центров и площади контакта катализатора с субстратом.

Рост каталитической активности пленочных структур можно связать с возрастанием удельной поверхности материала при увеличении напряжения при электролизе и связанным с этим увеличением площади межфазного взаимодействия катализатора и субстрата, а также повышением концентрации активных центров в материале.

Механизм фотоокисления включает три последовательно протекающие стадии: 1) фотоиндуцированная генерация носителей заряда, обусловленная поглощением фотонов с энергией, превышающей ширину запрещенной зоны алюмосиликата и приводящая к образованию электронно-дырочных пар в материале; 2) миграция и рекомбинация носителей заряда: носители заряда диффундируют к поверхности, часть из них рекомбинирует в объеме и на поверхности пленки; 3) радикал-опосредованное окисление, связанное с реакцией свободных электронов и дырок с молекулами воды и кислорода, находящимися на поверхности алюмосиликата, что приводит к образованию супероксидных и гидроксильных радикалов, которые из-за своей высокой активности вступают в реакцию с органическим соединением, приводящую к образованию нетоксичных продуктов разложения (например, углекислый газ и вода). Предложенный механизм можно представить следующей схемой:



Выводы

В работе синтезированы алюмосиликатные катализаторы, представляющие собой тонкие механически прочные пленки. Исследована каталитическая активность образцов в реакциях фотодеструкции 4-{{[4 (Диэтиламино)фенил](фенил)метиле}-N,N-диэтилциклогекса-2,5-диен-1-иминия гидрооксалата. Установлена зависимость каталитической активности от условий получения катализатора и длины волны облучения образцов. Предложен механизм фотокаталитического окисления модельного органического вещества. Полученные данные представляют практический и теоретический интерес в разработке автомобильных катализаторов для окисления и доокисления отходящих газов, способствуя повышению экологической безопасности автотранспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сахатмуратов Е., Гараев П., Амандурдыев М., Шаммедов М. Оценка работы двигателя внутреннего сгорания по состоянию выхлопных газов // In Situ. 2022. №10. С. 16-19.
2. Karelina M.Yu., Pospelov P.I., Trofimenko Yu.V. [et al.]. Mathematical models for traffic flows on highways with intersections and junctions // T-Comm. 2021. Vol. 15. №11. P. 61-68. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-11-40-44.
3. Тургунбаев Б., Тухсанов Ф., Садиллаев З., Аскарлов Б. К вопросу очистки атмосферного воздуха от выхлопного газа автотранспортных средств // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2015. №8. С. 97-100.
4. Adam T.W., Clairotte M., Streibel T., Elsasser M., Pommeres A., Manfredi U., Carriero M., Martini G., Sklorz M., Krasenbrink A., Astorga C., Zimmermann R. Real-time analysis of aromatics in combustion engine exhaust by resonance-enhanced multiphoton ionisation time-of-flight mass spectrometry (REMPI-TOF-MS): a robust tool for chassis dynamometer testing // Anal Bioanal Chem. 2012. №404(1). С. 273-6. doi: 10.1007/s00216-012-6112-6.
5. Плеханов Д.К. Изменения содержания вредных веществ в выхлопных газах в экологических стандартах евро // Молодежь и наука. 2017. №6. С. 91.
6. Богомолов А.Р., Азиханов С.С., Дубов Г.М. [и др.] Исследование состава выхлопных газов карьерных самосвалов БелАЗ 75131, работающих в дизельном и газодизельном режимах // Горное оборудование и электромеханика. 2021. №2(154). С. 30-41. DOI 10.26730/1816-4528-2021-2-30-41.
7. Суфиянов Р.Ш. Исследование химического состава выхлопных газов бензиновых двигателей внутреннего сгорания // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. №12. С. 98-101.

8. Яковлев А.Н., Монахов В.И. Бенз(а)пирен в отработавших газах дизельных двигателей // Гигиена и санитария. 1975. №1.
9. Абдурахманова Э.Г. Влияние выхлопных газов на организм человека // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. №1-1(4). С. 53-57.
10. Бычков А.В. Влияние выхлопных газов автотранспорта на здоровье человека // Новая наука: Опыт, традиции, инновации. 2016. №3-2(71). С. 162-164.
11. Григорьянц К.Э., Арипова Т.У. Влияние выхлопных газов на параметры адаптивного иммунитета // Журнал теоретической и клинической медицины. 2021. №4. С. 148.
12. Крюкова М.А., Казанцев И.С. Автомобильный катализатор и методы его работы // Научный альманах. 2020. №6-2(68). С. 34-37.
13. Charula P. Assessment of Manganese Oxide and Cobalt Oxide Catalysts for Three Way Catalytic Converter // Kataliz v promyshlennosti. 2020. Vol. 20. №4. P. 286-302. DOI 10.18412/1816-0387-2020-4-286-302.
14. Алексеева Т.Ю., Карпов Ю.А., Дальнова О.А. [и др.] Современное состояние и проблемы аналитического контроля отработанных автомобильных катализаторов (обзор) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. №11. С. 5-14. DOI 10.26896/1028-6861-2017-83-11-5-14.
15. Даминов Г.Н., Зокирова Н.Т. Определение активности и селективности катализаторов при окислении компонентов выхлопных газов автотранспорта // Universum: технические науки. 2021. №3-2(84). С. 36-38.
16. Порсин А. В., Аликин Е. А., Данченко Н. М. [и др.] Исследование кислородной емкости церийсодержащих оксидов различного состава для катализаторов очистки выхлопных газов автомобилей // Катализ в промышленности. 2007. №6. С. 39-46.
17. Наранов Е.Р., Бадеева А.С., Садовников А.А. [и др.]. Гидрирование ароматических углеводородов на Ni/W сульфидных катализаторах, содержащих мезопористые алюмосиликаты различной природы // Нефтехимия. 2016. Т. 56. №4. С. 367. DOI 10.7868/S0028242116040122.
18. Панасенко А.Е., Борисова П.Д., Арефьева О.Д., Земнухова Л.А. Алюмосиликаты из соломы риса: получение и сорбционные свойства // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 291-298. DOI 10.14258/jcrpm.2019034278.
19. Бекешев М.М., Ибрашева Р.Х., Цветкова И.В. Крекинг парафинистого мазута на катализаторах из природных алюмосиликатов // Башкирский химический журнал. 2020. Т. 27. №2. С. 57-63. DOI 10.17122/bcj-2020-2-57-63.
20. Грибанов Е.Н., Горшков А.И., Сеницын Е.А. [и др.] Синтез, особенности морфологии и формирования пленки алюмосиликата на подложке // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2021. №1. С. 20-27. DOI 10.31857/S1028096021010076.
21. Горшков А.И., Горшков А.И., Грибанов Е.Н., Родичева И.В. Синтез и особенности структуры защитного покрытия на основе алюмосиликата на поверхности алюминия // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №2(81). С. 10-17. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(81)-10-17.

Горшков Александр Игоревич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Старший преподаватель
E-mail: gorshkov.a.i@yandex.ru

Иванёха Тарас Леонидович

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Магистрант
E-mail: ivaneha.taras@gmail.com

Грибанов Евгений Николаевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: г. Орел, ул. Комсомольская, 95
К.х.н., доцент, зав. кафедрой химии
E-mail: gribanoven@gmail.com

Васильев Кирилл Владимирович

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
Студент
E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

A.I. GORSHKOV, T.L. IVANEKHA, E.N. GRIBANOV, K.V. VASILIEV

CATALYTIC OXIDATION OF EXHAUST GASES ON ALUMINOSILICATE CATALYSTS TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF TRANSPORT

Abstract. A number of aluminosilicate-based materials with catalytic properties have been synthesized electrochemically. Each prototype was studied in photocatalytic degradation reactions of the model organic compound 4-[[4-(diethylamino)phenyl](phenyl)methylene]-N,N-diethylcyclohexa-2,5-diene-1-iminium hydroxalate belonging to the triphenylmethane series. It is shown that the obtained catalysts exhibit high catalytic activity: the degree of destruction of organic compounds was about 90% in 60 minutes. The dependence of the photocatalytic activity of materials on the irradiation wavelength, synthesis conditions, and textural characteristics of the obtained samples has been established. A mechanism of catalytic decomposition of a model organic compound is proposed.

Keywords: catalysis, aluminosilicates, environmental safety, transport

BIBLIOGRAPHY

1. Sakhatmuradov E., Garaev P., Amandurdyev M., Shammedov M. Otsenka raboty dvigatelya vnutrennego sgoraniya po sostoyaniyu vykhlopnykh gazov // In Situ. 2022. №10. S. 16-19.
2. Karelina M.Yu., Pospelov P.I., Trofimenko Yu.V. [et al.]. Mathematical models for traffic flows on highways with intersections and junctions // T-Comm. 2021. Vol. 15. №11. P. 61-68. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-11-40-44.
3. Turgunbaev B., Tukhsanov F., Sadillaev Z., Askarov B. K voprosu ochistki atmosfernogo vozdukha ot vykhlopnoy gazy avtotransportnykh sredstv // Sborniki konferentsiy NITS Sotsiosfera. 2015. №8. S. 97-100.
4. Adam T.W., Clairotte M., Streibel T., Elsasser M., Pommeres A., Manfredi U., Carriero M., Martini G., Sklorz M., Krasenbrink A., Astorga C., Zimmermann R. Real-time analysis of aromatics in combustion engine exhaust by resonance-enhanced multiphoton ionisation time-of-flight mass spectrometry (REMPI-TOF-MS): a robust tool for chassis dynamometer testing // Anal Bioanal Chem. 2012. №404(1). S. 273-6. doi: 10.1007/s00216-012-6112-6.
5. Plekhanov D.K. Izmeneniya soderzhaniya vrednykh veshchestv v vykhlopnykh gazakh v ekologicheskikh stan-dartakh evro // Molodezh' i nauka. 2017. №6. S. 91.
6. Bogomolov A.R., Azikhanov S.S., Dubov G.M. [i dr.] Issledovanie sostava vykhlopnykh gazov kar'ernykh samosvalov BelAZ 75131, rabotayushchikh v dizel'nom i gazodizel'nom rezhimakh // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. 2021. №2(154). S. 30-41. DOI 10.26730/1816-4528-2021-2-30-41.
7. Sufiyarov R.SH. Issledovanie khimicheskogo sostava vykhlopnykh gazov benzinovykh dvigateley vnutrennego sgoraniya // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2018. T. 21. №12. S. 98-101.
8. YAKovlev A.N., Monakhov V.I. Benz(a)piren v otrabotavshikh gazakh dizel'nykh dvigateley // Gigiena i sanitariya. 1975. №1.
9. Abdurakhmanova E.G. Vliyanie vykhlopnykh gazov na organizm cheloveka // Problemy obespecheniya bez-opasnosti pri likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy. 2015. №1-1(4). S. 53-57.
10. Bychkov A.V. Vliyanie vykhlopnykh gazov avtotransporta na zdorov'e cheloveka // Novaya nauka: Opyt, traditsii, innovatsii. 2016. №3-2(71). S. 162-164.
11. Grigor'yants K.E., Aripova T.U. Vliyanie vykhlopnykh gazov na parametry adaptivnogo immuniteta // ZHurnal teoreticheskoy i klinicheskoy meditsiny. 2021. №4. S. 148.
12. Kryukova M.A., Kazantsev I.S. Avtomobil'nyy katalizator i metody ego raboty // Nauchnyy al'manakh. 2020. №6-2(68). S. 34-37.
13. Charula P. Assessment of Manganese Oxide and Cobalt Oxide Catalysts for Three Way Catalytic Converter // Kataliz v promyshlennosti. 2020. Vol. 20. №4. P. 286-302. DOI 10.18412/1816-0387-2020-4-286-302.
14. Alekseeva T.YU., Karpov YU.A., Dal'nova O.A. [i dr.] Sovremennoe sostoyanie i problemy analiticheskogo kontrolya otrabotannykh avtomobil'nykh katalizatorov (obzor) // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. 2017. T. 83. №11. S. 5-14. DOI 10.26896/1028-6861-2017-83-11-5-14.
15. Daminov G.N., Zokirova N.T. Opredelenie aktivnosti i selektivnosti katalizatorov pri okislenii komponentov vykhlopnykh gazov avtotransporta // Universum: tekhnicheskie nauki. 2021. №3-2(84). S. 36-38.
16. Porsin A. V., Alikin E. A., Danchenko N. M. [i dr.] Issledovanie kislorodnoy emkosti tseriysoderzhashchikh oksidov razlichnogo sostava dlya katalizatorov ochistki vykhlopnykh gazov avtomobiley // Kataliz v promyshlennosti. 2007. №6. S. 39-46.
17. Naranov E.R., Badeeva A.S., Sadovnikov A.A. [i dr.] Gidrirovaniye aromatischeskikh uglevodorodov na Ni/W sulfidnykh katalizatorakh, soderzhashchikh mezoporiystye alyumosilikaty razlichnoy prirody // Neftekhimiya. 2016. T. 56. №4. S. 367. DOI 10.7868/S0028242116040122.
18. Panasenkov A.E., Borisova P.D., Aref'eva O.D., Zemnukhova L.A. Alyumosilikaty iz solomy risa: poluchenie i sorbtsionnye svoystva // Himiya rastitel'nogo syr'ya. 2019. №3. S. 291-298. DOI 10.14258/jcpm.2019034278.
19. Bekeshev M.M., Ibrashova R.H., TSvetkova I.V. Kreking parafinistogo mazuta na katalizatorakh iz prirodnykh alyumosilikatov // Bashkirskiy khimicheskii zhurnal. 2020. T. 27. №2. S. 57-63. DOI 10.17122/bcj-2020-2-57-63.
20. Gribanov E.N., Gorshkov A.I., Sinitsyn E.A. [i dr.] Sintez, osobennosti morfologii i formirovaniya plenki alyumosilikata na podlozhe // Poverkhnost'. Rentgenovskie, sinkhrotronnye i neytronnye issledovaniya. 2021. №1. S. 20-27. DOI 10.31857/S1028096021010076.
21. Gorshkov A.I., Gorshkov A.I., Gribanov E.N., Rodicheva I.V. Sintez i osobennosti struktury zashchitnogo pokrytiya na osnove alyumosilikata na poverkhnosti alyuminiya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №2(81). S. 10-17. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(81)-10-17.

Gorshkov Aleksander Igorevich
Orel State University
Address: Orel, Komsomolskaya str., 95
Senior lecturer
E-mail: gorshkov.a.i@yandex.ru

Ivanekha Taras Leonidovich
Orel State University
Address: Orel, Komsomolskaya str., 95
Student
E-mail: ivaneha.taras@gmail.com

Gribanov Evgeny Nikolaevich
Orel State University
Address: Orel, Komsomolskaya str., 95
Candidate of Technical Sciences
E-mail: gribanoven@gmail.com

Vasiliev Kirill Vladimirovich
Orel State University
Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Student
E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-10-17

Р.Н. САФИУЛЛИН, Х. ТЯНЬ, Ю.Н. КАЦУБА, М.В. БОГДАНОВ

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ
ТЕЛЕМАТИЧЕСКОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ
ОПАСНЫХ ГРУЗОВ**

***Аннотация.** Представлена последовательность построения научно-методического аппарата интегрированной телематической автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов. Обоснованы программа мониторинга и управления перевозочными процессами доставки опасных грузов на основе использования интеллектуальных автоматизированных систем. Определены виды обеспечения системы мониторинга и управления автомобильными перевозками опасных грузов, при создании локальной автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов, которые являются важными при формировании многих задач, которые предназначаются для выполнения функций на разных уровнях и в различных аспектах.*

***Ключевые слова:** методика, автоматизированная система управления, автомобильные перевозки опасных грузов, моделирование, контроль движения*

Введение

Согласно статистике Госавтодорнадзора, в 2023 году территориальными органами было выдано 45 324 специальных разрешения на перевозку опасных грузов (ОГ), что на 8% больше, чем в предыдущем году, при этом наиболее распространенной является перевозка жидких легковоспламеняющихся веществ. Наиболее распространенным видом несчастных случаев при перевозке ОГ является опрокидывание транспортных средств. Из-за особых свойств самих ОГ последствия аварии с опасными грузами часто приводят к значительному социальному, экономическому и экологическому ущербу, а также к потере большого количества перевозимых грузов [1]. Ежегодный рост объемов перевозок ОГ, сопровождающийся значительным увеличением количества транспортных средств, вызвал острую потребность в более научной модели управления для обеспечения безопасности транспортных средств и грузов, перевозящих опасные химические вещества, и повышения эффективности перевозок. Российский и китайский документы четко требуют использования специальных транспортных средств для перевозки ОГ, оснащенных средствами связи и аппаратурой спутникового позиционирования и навигации. Однако из-за отсутствия эффективного контроля и оценки эти аппаратура и технические средства не достигли желаемых результатов в ходе их использования.

Постоянное внедрение передовых научно-технических средств и оборудования в области перевозки ОГ является актуальной тенденцией, необходимость внедрения действующей и эффективной интеллектуальной транспортной системы (ИТС) растет с высокими темпами [2]. Актуальность данной темы обусловлена тем, что в настоящее время отсутствует научно-методического аппарата рационального построения интегрированной телематической автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов, способного эффективно управлять перевозочными процессами доставки опасных грузов и позволяющих обеспечивать безопасность дорожного движения. Таким образом, задачей данного исследования является разработка модели и алгоритмы формирования интегрированной телематической автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов.

Материал и методы

На начальном этапе исследований и разработки любой ИТС основой для всестороннего развития системы является ее руководящая структура [3]. Рамки используются главным образом для определения целей разработки ИТС, для обеспечения ссылки на стандартные исследовательские работы, а также для предотвращения дублирования исследований и незапланированных разработок. Структура системы ИТС в общем состоит из следующих компонентов: пользователи услуг, функциональная архитектура, физическая архитектура, коммуникационная архитектура, стандартизация ИТС, оценка экономической эффективности и реализация проекта.

Научное обоснование и разработка методов инновационных технических и технологических решений [4] стали объективной необходимостью для обеспечения эффективного функционирования системы управления грузовым автомобильным транспортом. На основе системно-целевого подхода может быть достигнута интеграция целевых технологий интеллектуальных технических средств управления автомобильным транспортом в процесс управления дорожной сетью с целью улучшения показателей функционирования дорожного движения и качества перевозки грузов. В основе этого подхода лежит взаимосвязь между работой интеллектуальных технических средств и результатами их функционирования в части повышения эксплуатационной эффективности автомобильного транспорта, что позволяет совместно оптимизировать перевозочные процессы доставки грузов [5,6]. Модель, связывающая интеллектуальные технические средства (Ртр) и транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги и показатели качества грузоперевозки (Re), формирует нормативно-целевую основу для альтернативной реализации программы улучшений. Критерии оптимизации базируются на общих технических и эксплуатационных показателях автотранспортного процесса.

Теория

С учетом системно-целевого подхода сформирована модель мониторинга и управления перевозками опасных грузов (рис. 2).

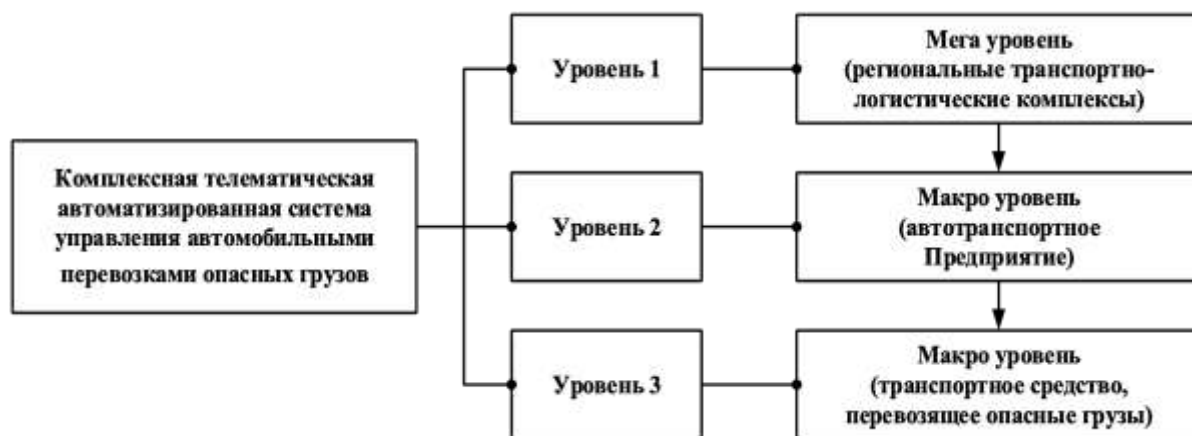


Рисунок 1 - Модель мониторинга и управления перевозками опасных грузов

Транспортные средства, перевозящие опасные материалы, можно рассматривать как мобильные источники опасности. В связи с этим производители, получатели, государственные контролирующие органы и аварийные службы и даже гражданские лица, проживающие вблизи маршрутов транспортировки опасных веществ, имеют разные интересы. Для тех, кто живет вблизи маршрутов транспортировки, безопасность имеет первостепенное значение, в то время как для грузоотправителей и грузополучателей первостепенное значение имеет минимально возможная стоимость, а с другой стороны, правительства несут ответственность за поддержание надлежащего уровня безопасности. В соответствии с действующей системой управления автомобильными перевозками ОГ, управление процессом перевозки ОГ является

многосторонним. Участники деятельности по автомобильным перевозкам ОГ, их функции и требования к системам управления информацией представлены в таблице 1.

Таблице 1 - Требования информационной системы управления для участников грузовой транспортной деятельности с ОГ

Участники	Основные функции	Функциональные требования к системе
Территориальный орган Федеральной службы по надзору в сфере транспорта (РОСТРАНСНАДЗОРА)	Выдача лицензии на перевозку опасного груза (или уведомление об отказе в ее выдаче) ; Выдача свидетельство о подготовке водителей автотранспортных средств, перевозящих ОГ	Размещение и передача информации о статусе утверждения заявок на перевозку ОГ
ГИБДД МВД России	Выдача свидетельство о допуске транспортного средства к перевозке ОГ	Информатизированное управление и запрос транспортных средств; контроль, управление и руководство процессом передвижения транспортных средств; получение и передача информации о дорожно-транспортных происшествиях при перевозках ОГ
МЧС	Реагирование на чрезвычайные происшествия; принять меры по ликвидации ЧС с опасным грузом	Координация действий в чрезвычайных ситуациях; информация о перевозимых опасных грузах; диспетчеризация пожарных и медицинских ресурсов
Производитель ОГ	Подача заявки на перевозку ОГ	Размещение информации о требованиях к грузоперевозкам; мониторинг информации о состоянии ОГ
Автотранспортные предприятия	Заявление на получение свидетельство о допуске транспортного средства к перевозке ОГ и разрешение на перевозку ОГ; Эксплуатация и управление транспортными средствами	Получение информации о заказах на перевозку ОГ; поиск статуса одобрения заявок на получение транспортных лицензий, деклараций персонала и т.д.; мониторинг состояния груза, водителя и транспортного средства в режиме реального времени
Владелец грузов(получатели)	-	Запрос информации о состоянии грузового транспорта

Без активного взаимодействия с заинтересованными сторонами автотранспортной деятельности по перевозке опасных грузов и окружающей среды соответствующие системы не могут работать эффективно. Однако для этого необходимо не только активное взаимодействие, но и входные сигналы интегрированной автоматизированной системы управления на автомагистрали, которые должны предоставлять архивную и прогностическую информацию об объекте управления и системе. В результате была сформирована концептуальная модель системы (рис. 2).

Оценка ИТС является одним из ключевых компонентов системы ИТС, целью которой является оценка экономической и технической обоснованности, социальных выгод, воздействия на окружающую среду и рисков проектов ИТС. С применением программного и аппаратного обеспечения контроля движением ТС постепенное формирование локально интегрированных систем управления автомобильными перевозками опасных грузов будет иметь разную степень влияния на все аспекты городской транспортной системы. Согласно классификации целей применения, эти воздействия могут включать: влияние на состояние эксплуатации дорожного движения, эффективность управления эксплуатацией дорожного движения, эффективность безопасности и социальные эффекты.

Показатели оценки влияния применения систем автоматического управления включают множество аспектов. С точки зрения только учета влияния на состояние эксплуатации дорожного движения, в качестве основных показателей для оценки эффективности применения системы автоматического управления дорожным движением можно выбрать среднюю скорость транспортного потока и пропускную способность дороги.



Рисунок 2 - Концептуальная модель формирования интегрированной телематической автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов

Управление каждым уровнем процесса транспортировки опасных материалов при внедрения автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов должно быть оптимизировано в соответствии со следующими критериями:

- объем технических систем автоматизации, позволяющих эффективно управлять движением ТС, перевозящее ОГ n -й период не должен противоречить сохраняющейся тенденции увеличения количества зарегистрированных ТС, перевозящие опасные грузы в последующем $n + 1$ периоде $F_{mp(n+1)} > F_{mp(n)}$ ($F_{mp(n)}$ не равно 0);

- транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги от грузовых авто-транспортных потоков и технико-эксплуатационные показатели ТС, перевозящие опасные грузы $R_v < R_{kd} = f(c_p)$ не должны быть больше тех, которые требуются в соответствии с нормативными документами, регулирующими деятельность по перевозке ОГ.

Как и в других системах управления информацией, ключевым моментом в формировании автоматизированной информационно-управляющей системы перевозкой ОГ является создание полноценной системы баз данных, в то же время, чтобы облегчить управление, система баз данных должна быть подключена к единой платформе управления дорожным движением [7, 8]. Подсистема базы данных включает: базу данных предприятий по производству ОГ, базу данных автотранспортных предприятий, базу данных транспортных средств, перевозящих ОГ, базу данных персоналий, занимающихся перевозкой ОГ, базу данных транспортных маршрутов, базу данных географических информационных систем и базу данных чрезвычайных спасательных служб и т.д.

В последние годы нейросетевые исследования в области распознавания образов, обнаружения целей, сегментации изображений и другие прорывы, в то время как с улучшением уровня компьютерного оборудования [9-11], сложные алгоритмы, вызванные вычислительные трудности в режиме реального времени были постепенно решены, значительно способствуя применению конволюционных нейронных сетей в интеллектуальных транспортных системах, в идентификации номерных знаков, моделей автомобилей, дорожных знаков, а также прогнозирования состояния дорожного движения и других областях сделали много

результатов исследований. Многие результаты исследований были достигнуты в области распознавания номерных знаков, моделей автомобилей, дорожных знаков и прогнозирования состояния дорожного движения [12-15].

Результаты и обсуждение

Стремительное развитие современного транспортного сектора привело к тому, что проблемы организации дорожного движения и обеспечения безопасности дорожного движения становятся все более актуальными. Возникновение ДТП серьезно угрожает безопасности человеческой жизни и имущества, однако медленная передача данных по сети транспортных средств и высокая сложность существующих алгоритмов, вызванная вычислительными задержками, сильно влияют на точность прогнозирования риска ДТП в реальном времени. В связи с вышеизложенным, рациональное оснащение и эффективное использование измерительных средств (ИС), как основных инструментов для сбора информации, имеет большое значение [3]. На основании метода Парето разработан алгоритм рационального выбора ИС интегрированной телематической автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов (рис. 3). Определен обобщенный критерий - степень эффективности идентификации ТС (P_i) для рационального оснащения ИС системы управления. Измерительные средства интегрированной автоматизированной системы управления, представляют собой совокупностью вероятностей решения k -ой задачи. Идентификации в степени соответствия полученной вероятностной оценки (P_k) и требуемой ($P_{k\epsilon}$):

$$P_i = P_k^3 - P_k, \text{ если } P_k^3 \geq P_k, \quad (1)$$

$$P_i = 0, \text{ если } P_k^3 < P_k,$$

$$\text{где, } P_i = \frac{1}{\sum_{k=1}^P N_k}, \text{ если } \sum_{k=1}^P n_k \neq 0, \quad (2)$$

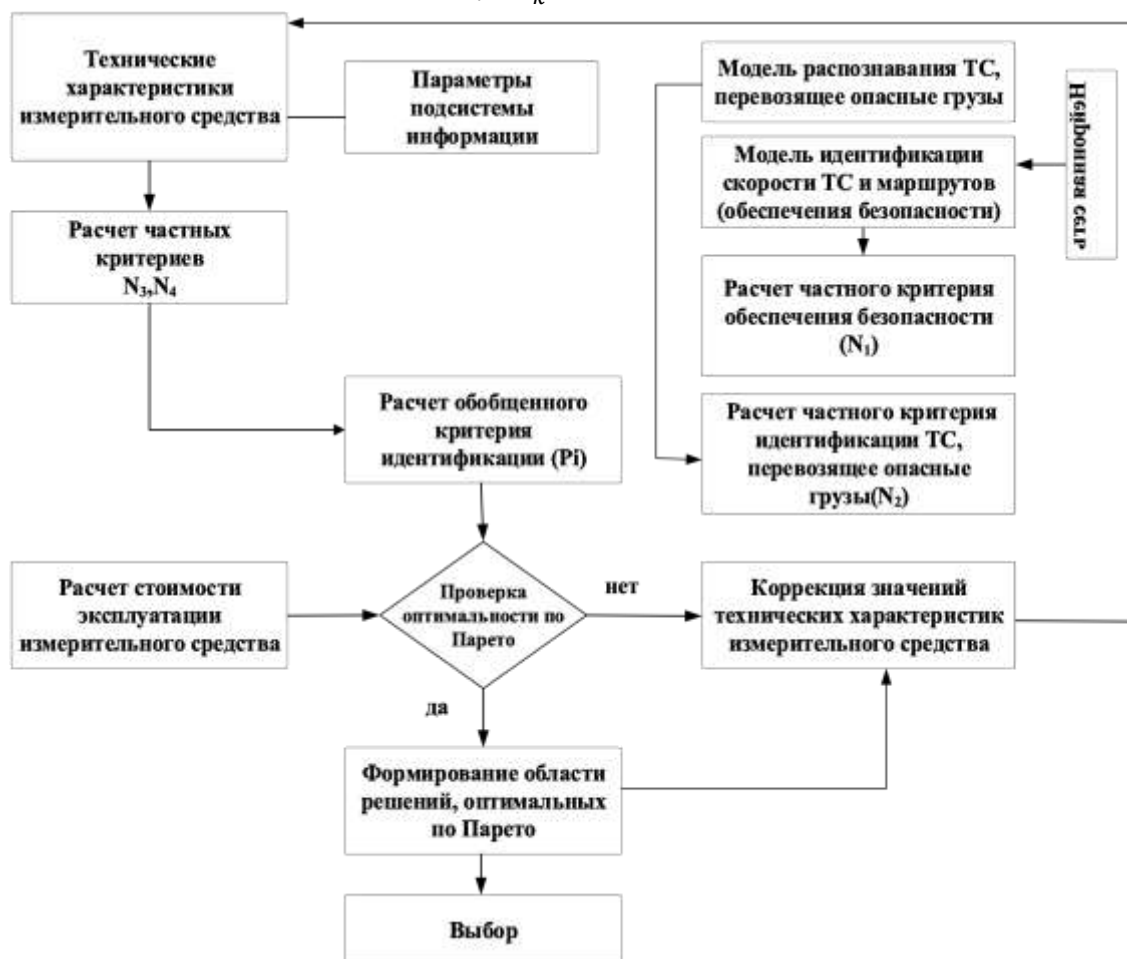


Рисунок 3 - Алгоритм рационального оснащения измерительных средств интегрированной телематической автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов

Выводы

Безопасность и эффективность функционирования систем автомобильных перевозок опасных химических веществ - важный, сложный, социально и экологически чувствительный вопрос. Ввиду проблем недостаточного информационного обмена и сложности контроля в действующей системе регулирования автомобильных перевозок опасных грузов, создание интегрированной телематической автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов является наиболее перспективным направлением. В данной работе на основе актуальных отечественных и зарубежных исследований и нормативных документов по перевозке опасных грузов проведено исследование комплексной системы мониторинга транспортных средств, перевозящих опасные грузы. На основе методов системного анализа и системно-целевого разработаны модели и алгоритмы формирования интегрированной телематической автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов.

Результаты данной работы возможно использовать в качестве использовать в качестве методологической основы построения интегрированной телематической автоматизированной системы управления автомобильными перевозками опасных грузов на автомобильной дороге.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kirsanov A., Tatarinov V. Enhancement of monitoring systems for the transport of dangerous goods by road // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019. Т. 492. №1. С. 012017. DOI:10.1088/1757-899X/492/1/012017
2. Holeczek N. Hazardous materials truck transportation problems: A classification and state of the art literature review [Электронный ресурс] / Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2019. (69). С. 305-328. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.02.010>.
3. Сафиуллин Р.Н. Системы автоматизации контроля движения на автомобильном транспорте. Монография. Санкт-Петербург: Лань, 2019. 68 с.
4. Kazanin O.I., Meshkov A.A., Sidorenko A.A. Prospects for Development of a Technological Structure of Underground Coal Mines. ГИАБ 2022. P. 35-53. doi:10.25018/0236_1493_2022_61_0_35.
5. Singh R., Sharma R., Vaseem Akram S., Gehlot A., Buddhi D., Malik P.K., Arya R. Highway 4.0: Digitalization of Highways for Vulnerable Road Safety Development with Intelligent IoT Sensors and Machine Learning // Safety Science. 2021. №143. 105407. doi:10.1016/j.ssci.2021.105407.
6. Zhu L., Yu F.R., Wang Y., Ning B. Big data analytics in intelligent transportation systems: A survey [Электронный ресурс] / IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2019. №20(1). P. 383-398. URL: <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2815678>.
7. Zhankaziev S., Gavriluk M., Morozov D., Zabudsky A. Scientific and Methodological Approaches to the Development of a Feasibility Study for Intelligent Transportation Systems // Transportation Research Procedia. 2018. №36. P. 841-847. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.068.
8. Barykin S.E., Borisoglebskaya L.N., Provotorov V.V., Kapustina I.V., Sergeev S.M., De La Poza Plaza E., Saychenko L. Sustainability of Management Decisions in a Digital Logistics Network // Sustainability. 2021. №13. 9289. doi:10.3390/su13169289.
9. Филиппов Е.В., Захаров Л.А., Мартюшев Д.А., Пономарева И.Н. Воспроизведение пластового давления методами машинного обучения и исследование его влияния на процесс образования трещин при гидравлическом разрыве пласта // Записки Горного института. 2022. Т. 258. С. 924-932. DOI: 10.31897/PMI.2022.103
10. Li H. et al. Reading car license plates using deep neural networks // Image and Vision Computing. 2018. Т. 72. С. 14-23.
11. Арефьев А.В. и др. Проблемы построения больших локальных сетей интернета вещей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. №10. С. 261-267.
12. Wang F.S. et al. Deep attribute learning based traffic sign detection // Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition). 2018. Т. 48. №1. С. 319-329.
13. Адноворцев А.М. и др. Создание интеллектуальных систем принятия решений на базе технологии свёрточных нейронных сетей // Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности. 2022. С. 25-32.
14. Рыбкина А.М., Демидова П.М., Коробицына Е.С. Методы интеллектуального анализа территории при строительстве объектов дорожного транспорта // Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28. №4.

15. Alekhina A., Gurenko A., Dorrer M. Application of computer vision tools to create a system for monitoring the work of ground equipment in open pits of gold mining Enterprises // Cyber-Physical Systems: Intelligent Models and Algorithms. Cham : Springer International Publishing, 2022. С. 203-218.

Сафиуллин Равиль Нуруллович

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II
Адрес: 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2
Д.т.н., профессор кафедры транспортно-технологических процессов и машин
E-mail: safravi@mail.ru

Тянь Хаотянь

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II
Адрес: 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2
Аспирант
E-mail: tianhaotian1996@gmail.com

Кацуба Юрий Николаевич

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II
Адрес: 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2
К.т.н., доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин
E-mail: Katsuba_YuN@pers.spmi.ru

Богданов Михаил Валентинович

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II
Адрес: 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2
К.т.н., доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин
E-mail: Bogdanov_MV@pers.spmi.ru

R.N. SAFIULLIN, H. TIAN, YU.N. KATSUBA, M.V. BOGDANOV

MODELS AND ALGORITHMS FOR THE FORMATION OF AN INTEGRATED TELEMATIC AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR ROAD TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS

Abstract. *The sequence of construction of scientific and methodological apparatus of the integrated telematic automated control system of road transportation of dangerous goods is presented. The program of monitoring and control of transportation processes of dangerous goods delivery based on the use of intelligent automated systems is substantiated. The types of provision of the system of monitoring and control of road transportation of dangerous goods, when creating a local automated control system of road transportation of dangerous goods, which are important in the formation of many tasks that are intended to perform functions at different levels and in different aspects, are determined.*

Keywords: *method, automated control system, road transportation of dangerous goods, modeling, road traffic control*

BIBLIOGRAPHY

1. Kirsanov A., Tatarinov V. Enhancement of monitoring systems for the transport of dangerous goods by road // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019. T. 492. №1. S. 012017. DOI:10.1088/1757-899X/492/1/012017
2. Holeczek N. Hazardous materials truck transportation problems: A classification and state of the art literature review [Elektronnyy resurs] / Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2019. (69). С. 305-328. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.02.010>.
3. Safiullin R.N. Sistemy avtomatizatsii kontrolya dvizheniya na avtomobil`nom transporte. Monografiya. Sankt-Peterburg: Lan`, 2019. 68 s.
4. Kazanin O.I., Meshkov A.A., Sidorenko A.A. Prospects for Development of a Technological Structure of Underground Coal Mines. GIAB 2022. R. 35-53. doi:10.25018/0236_1493_2022_61_0_35.
5. Singh R., Sharma R., Vaseem Akram S., Gehlot A., Buddhi D., Malik P.K., Arya R. Highway 4.0: Digitali-

- za-tion of Highways for Vulnerable Road Safety Development with Intelligent IoT Sensors and Machine Learning // Safe-ty Science. 2021. №143. 105407. doi:10.1016/j.ssci.2021.105407.
6. Zhu L., Yu F.R., Wang Y., Ning B. Big data analytics in intelligent transportation systems: A survey [Elektronnyy resurs] / IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2019. №20(1). R. 383-398. URL: <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2815678>.
7. Zhankaziev S., Gavriluk M., Morozov D., Zabudsky A. Scientific and Methodological Approaches to the Development of a Feasibility Study for Intelligent Transportation Systems // Transportation Research Procedia. 2018. №36. R. 841-847. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.068.
8. Barykin S.E., Borisoglebskaya L.N., Provotorov V.V., Kapustina I.V., Sergeev S.M., De La Poza Plaza E., Saychenko L. Sustainability of Management Decisions in a Digital Logistics Network // Sustainability. 2021. №13. 9289. doi:10.3390/su13169289.
9. Filippov E.V., Zakharov L.A., Martyshev D.A., Ponomareva I.N. Vospriozvedenie plastovogo davleniya metodami mashinnogo obucheniya i issledovanie ego vliyaniya na protsess obrazovaniya treshchin pri gidravlicheskom razryve plasta // Zapiski Gornogo instituta. 2022. T. 258. S. 924-932. DOI: 10.31897/PMI.2022.103
10. Li H. et al. Reading car license plates using deep neural networks // Image and Vision Computing. 2018. T. 72. S. 14-23.
11. Aref'ev A.V. i dr. Problemy postroeniya bol'shikh lokal'nykh setey interneta veshchey // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2022. №10. S. 261-267.
12. Wang F.S. et al. Deep attribute learning based traffic sign detection // Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition). 2018. T. 48. №1. S. 319-329.
13. Adnodvortsev A.M. i dr. Sozdanie intellektual'nykh sistem prinyatiya resheniy na baze tekhnologii sviortchnykh neyronnykh setey // Fabrika budushchego: perekhod k peredovym tsifrovym, intellektual'nym proizvodstvennym tekhnologiyam, robotizirovannym sistemam dlya otrasley pishchevoy promyshlennosti. 2022. S. 25-32.
14. Rybkina A.M., Demidova P.M., Korobitsyna E.S. Metody intellektual'nogo analiza territorii pri stroitel'stve ob"ektov dorozhnogo transporta // Vestnik SGUGiT. 2023. T. 28. №4.
15. Alekhina A., Gurenko A., Dorrer M. Application of computer vision tools to create a system for monitoring the work of ground equipment in open pits of gold mining Enterprises // Cyber-Physical Systems: Intelligent Models and Algorithms. Cham : Springer International Publishing, 2022. S. 203-218.

Safiullin Ravil Nurullovich

Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II
Address: 199106, Russia, Saint-Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 liniya 2
Doctor of Technical Sciences
E-mail: safravi@mail.ru

Tian Haotian

Saint-Petersburg State Mining University of Empress Catherine II
Address: 199106, Russia, Saint-Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 liniya 2
Postgraduate student
E-mail: tianhaotian1996@gmail.com

Katsuba Yuri Nikolayevich

Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II
Address: 199106, Russia, Saint-Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 liniya 2
Candidate of Technical Sciences
E-mail: Katsuba_YuN@pers.spmi.ru

Bogdanov Mikhail Valentinovich

Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II
Address: 199106, Russia, Saint-Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 liniya 2
Candidate of Technical Sciences
E-mail: Bogdanov_MV@pers.spmi.ru

УДК 656.13.072:338

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-18-24

С.А. ЖЕСТКОВА

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕВОЙ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСПОРТНО- ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. В данной работе рассматривается цифровая трансформация транспортно-логистических процессов сетевой доставки грузов, на основе использования разработанного программного обеспечения. Использование программы позволяет определить оптимальное расположение распределительного центра по критерию времени, сформировать оптимальные маршруты доставки товара с учетом ограничений на основе использования точного метода фиктивных узлов и ветвей (ФУВ), обеспечивает возможность моделирования производственных процессов сетевой доставки груза с распределительного центра в торговые точки.

Ключевые слова: методика, время, цифровая трансформация, транспортно-логистические процессы, кривизна, линейная аппроксимация

Введение

Цифровая трансформация открывает новые возможности управления и организации транспортно-логистическими потоками в логистике. Одним из ключевых инструментов в цифровой трансформации это автоматизация всех процессов и систем доставки груза. С помощью автоматизации процессов можно управлять, моделировать и осуществлять мониторинг процесса доставки груза.

Использование инновационных процессов позволяет компаниям получить доступ к большому объёму данных, позволяющих прогнозировать спрос, оптимизировать маршруты с учетом ограничений, определять оптимальное расположение распределительных центров, минимизировать затраты на доставку груза.

Материал и методы

Для повышения эффективности сетевой доставки груза было разработано программное обеспечение Distribution Center, которое позволяет:

- определять оптимальные маршруты движения на основе использования точного метода фиктивных узлов и ветвей;
- моделировать транспортно-логистические процессы доставки груза с учётом ограничений;
- определять местоположения РЦ по критерию времени, с учетом с учетом кривизны маршрута;
- автоматизировать и интегрировать процессы доставки груза.

Для выполнения основных функций программы, использована разработанная методика, которая состоит из нескольких этапов [1-8]:

На первом этапе определяем район наиболее вероятного нахождения регионального центра. Вычисляем координаты временного центра тяжести, используя формулы (1) и (2) [9-12]. Вместо массы взято время нахождения автомобиля в пункте.

$$X_c = \frac{t_1^{\partial s} x_1^{\partial s} + t_2^{\partial s} x_2^{\partial s} + \dots + t_i^{\partial s} x_i^{\partial s} + t_1^{np} x_1^{np} + t_2^{np} x_2^{np} + \dots + t_i^{np} x_i^{np}}{t_1^{\partial s} + t_2^{\partial s} + \dots + t_i^{\partial s} + t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}}; \quad (1)$$

$$Y_c = \frac{t_1^{\partial s} y_1^{\partial s} + t_2^{\partial s} y_2^{\partial s} + \dots + t_i^{\partial s} y_i^{\partial s} + t_1^{np} y_1^{np} + t_2^{np} y_2^{np} + \dots + t_i^{np} y_i^{np}}{t_1^{\partial s} + t_2^{\partial s} + \dots + t_i^{\partial s} + t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}}, \quad (2)$$

где $t_i^{\partial\partial}$ - время движения на участке маршрута;

t_i^{np} - время простоя в пункте на участке маршрута.

Район расположения регионального центра находится вокруг временного центра тяжести. Его граница проходит через узлы наиболее близко расположенные к нему.

На втором этапе определяем рациональное расположение регионального центра. Определяем время на каждой ветви.

Выберем в качестве критерия оптимизации кольцевого маршрута время T_i

$$T_i = \sum_{i=1}^m t_{ij} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где t_{ij} - время нахождения на ветви $i-j$ равно;

$$t_{ij} = t_{ij}^{\partial\partial} + t_j^{np}, \quad (4)$$

$t_{ij}^{\partial\partial}$ - время движения в пункте j по направлению движения от i к j ;

t_j^{np} - время простоя от пункта i до вершины j .

На третьем этапе устанавливаем методом ФУВ [13-15], рациональный кольцевой маршрут с началом в выбранном узле. Разбиваем его на участки и находим координаты их центров тяжести по формулам (1) и (2). Определяем координаты для всех временных центров (ВЦ).

На четвертом этапе определяем средние координаты по всем ВЦ. Полученную точку наносим на карту и располагаем в ней РЦ. Количество временных центров равно числу расчетных принятых узлов.

Рассмотрим применение программы на практике, при сетевой доставке груза с распределительного центра компании ПАО «Магнит», расположенного в Пензенской области, в торговые точки автомобильным транспортом. У каждого магазина есть свой номер, в программе магазин обозначается – $Пi$, i - номер магазина.

1. Определяем координаты 60 торговых точек и распределительного центра. Время работы подвижного состава на маршрутах, программа берет из оцифрованных логистических процессов сетевой доставки груза в данной компании. Вычисляем координаты временного центра тяжести, наносим на карту полученную точку (рис. 1).

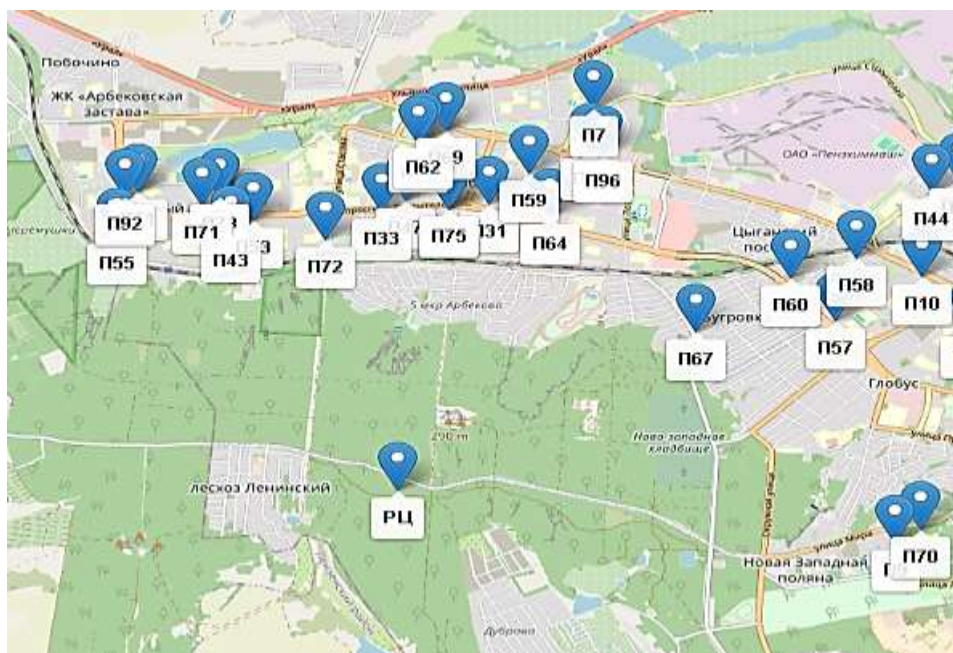


Рисунок 1 – Расположение на карте временного центра тяжести

$$X_c = \frac{t_1^{np} x_1^{np} + t_2^{np} x_2^{np} + \dots + t_i^{np} x_i^{np}}{t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}} = \frac{1199,066983}{22,54166} = 53,19337542 \quad \text{км};$$

$$Y_c = \frac{t_1^{np} y_1^{np} + t_2^{np} y_2^{np} + \dots + t_i^{np} y_i^{np}}{t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}} = \frac{1012,43863}{22,54166} = 44,91411147 \quad \text{км}.$$

2. Находим по карте расчетные узлы, расположенные около временного центра тяжести. В данном случае, наиболее близко расположенные расчетные узлы – П55, П67.

3. Проектируем оптимальные маршруты с учетом ограничений по вместимости (19 пл./м) и количеству пунктов по маршруту (3 пункта) с расчетного узла П55, с учетом реализации торговых точек получилось 22 маршрута длиной 3249 км, из них 16 маршрутов по 3 пункта на маршруте и 6 маршрутов по 2 пункта (рис. 2).

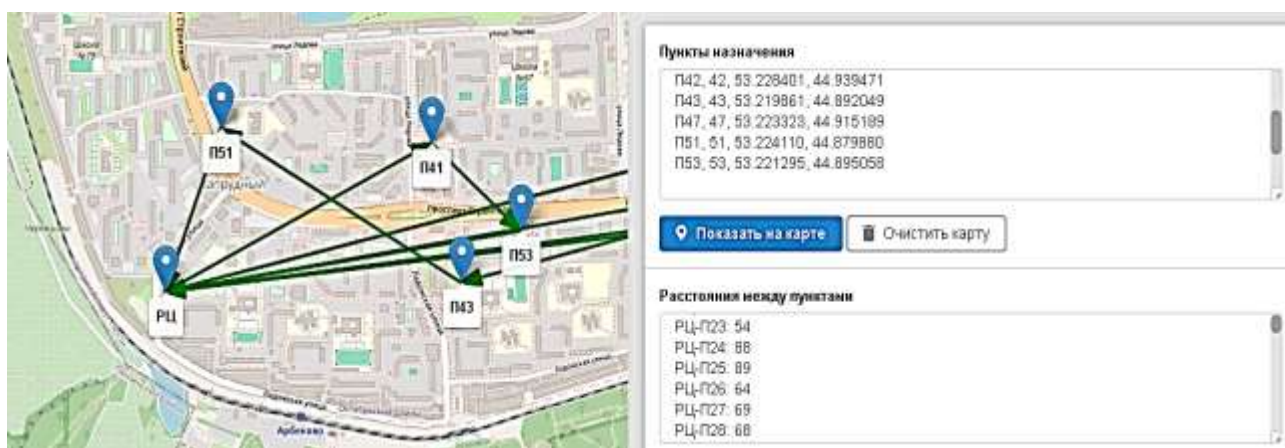


Рисунок 2 – Определение расчетных маршрутов с расчетного узла П55, программой Distribution Center

Далее определяем оптимальные маршруты с расчетного узла П67, с учетом поставленных ограничений. В результате расчета программой получается 21 маршрут длиной 3314 км, из них 18 маршрутов по 3 пункта разгрузки и 3 маршрута по 2 пункта (рис. 3).

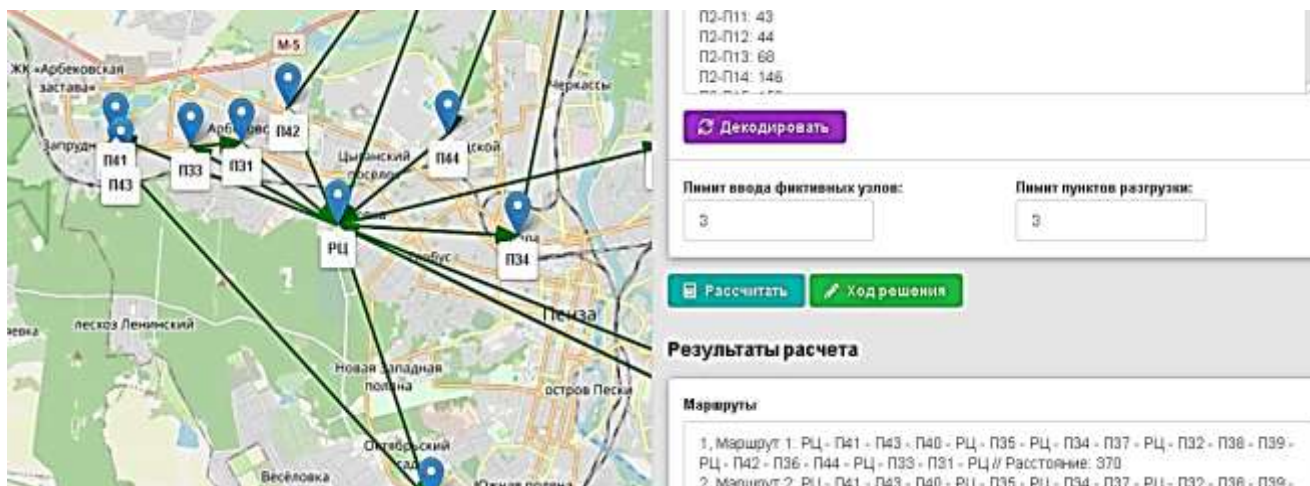


Рисунок 3 – Определение расчетных маршрутов с расчетного узла П67, программой Distribution Center

3. Выполняем кусочно-линейную аппроксимацию полученных маршрутов и находим координаты их центров тяжести по формулам (1) и (2). Далее на основе полученных данных рассчитываем координаты по всем ВЦ, результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов

Начало отсчета	Обозначение	x, км	y, км	l, км	t, час
П55	ЦР55	53,20764683	44,64897080	3249	95,5
П67	ЦР67	53,20039042	44,93188743	3344	98,3

4. Определяем средние координаты по всем ВЦ. Полученную точку наносим на карту и располагаем в ней РЦ, результаты расчетов в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

Начало отсчета	Обозначение	х, км	у, км
П55	ЦР55	53,20764683	44,64897080
П67	ЦР67	53,20039042	44,93188743
среднее	РЦ	53,20401936	44,790429115

Для определения эффективности предложенных мероприятий:

- сравним доставку груза за смену с существующего распределительного центра и расчетного;

- определим социально-экономический ущерб от работы автомобилей при сетевой доставке груза до и после внедрения предложенных решений.

В таблицах 3 и 4 приведены показатели работы подвижного состава с существующего и расчетного распределительных центров. В процессе исследования определялись и рассчитывались следующие показатели:

l - длина маршрута, км;

T - время на маршруте, час;

l^{ce} - длина груженой ездки на маршруте, км;

l^x - длина холостого пробега на маршруте, км;

P - транспортная работа подвижного состава на маршруте, т.км;

Таблица 3 - Показатели работы подвижного состава с существующего распределительного центра

№ авто-моби-ля	№ маршрута	Пункт торговой сети	Кол-во поддонов	<i>l</i> , км	<i>T</i> , час	<i>l</i> ^{ce} , км	<i>L</i> ^x , км	<i>P</i> , т.км	<i>U</i> , т/ч	<i>W</i> , т.км/ч
1	1	1. Магазин	2	76,2	5,24	76,2	-	975,36	2,44	186,14
		2. Магазин	5							
		3. Магазин	4							
		4. Магазин	5							
2	2	5. Магазин	6,5	97,8	8,62	70,7	27,1	556,91	1,93	64,61
		6. Магазин	5							
		7. Магазин	6							
3	3	8. Магазин	1,5	161,2	6,24	134,4	26,8	1622,43	1,93	261,68
		9. Магазин	6,5							
		10. Магазин	7							
4	4	11. Магазин	6	152,33	5,47	107,33	45	811,22	2,19	148,30
		12. Магазин	3,5							
		13. Магазин	5,5							
5	5	14. Магазин	3,5	186	6,43	98	88	1620,14	1,93	251,97
		15. Магазин	6,5							
		16. Магазин	5,5							
6	6	17. Магазин	4,5	146	5,79	82	64	810,07	1,43	139,91
		18. Магазин	7							
		19. Магазин	3,5							
		20. Магазин	1,5							
7	7	21. Магазин	1,5	185,32	7,44	131,32	54	1005,56	1,67	135,16
		22. Магазин	5,5							
		23. Магазин	6							
		8. Магазин	2,5							
8	8	24. Магазин	6	171,1	5,42	87,1	84	742,22	2,22	137,86
		25. Магазин	9							
Итого				1175,95	50,65	787,05	388,9	8148,91	15,74	1325,63

В таблице 4 маршруты рассчитаны программой на основе использования точного метода фиктивных узлов и ветвей с учетом поставленных выше ограничений.

Таблица 4 - Показатели работы подвижного состава с расчетного распределительного центра за смену

№ авто-моби-ля	№ марш-рута	Пункт торговой сети	Кол-во поддонов	l, км	T, час	l ^с , км	L ^х , км	P, т.км	U, т/ч	W, т.км/ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	13. Магазин	5,5	109	5,22	84	25	1276,8	2,9	244,5
		1. Магазин	2							
		9. Магазин	6,5							
		2. Магазин	5							
2	2	24. Магазин	9	112	5,63	83	29	1261,6	2,6	224,08
		25. Магазин	6							
		3. Магазин	4							
3	3	15. Магазин	6,5	131	5,3	78	54	1185,6	2,8	223,6
		16. Магазин	5,5							
		8. Магазин	4							
4	4	11. Магазин	6	149	5,47	122	27	1854,4	2,7	339
		7. Магазин	6							
		10. Магазин	7							
5	5	14. Магазин	3,5	171	8,67	131	40	1991,2	1,7	229,6
		18. Магазин	7							
		19. Магазин	3,5							
6	6	6. Магазин	5	136	5,23	112	24	1702,4	2,9	325,5
		12. Магазин	3,5							
		5. Магазин	6,5							
		4. Магазин	5							
7	7	17. Магазин	4,5	202	6,82	149	53	2264,8	3,3	332
		20. Магазин	1,5							
		21. Магазин	1,5							
		22. Магазин	5,5							
		23. Магазин	6							
Итого				1010	42,34	759	252	11536,8	18,9	1918,28

Расчёт социально-экономического ущерба от воздействия вредных веществ, выбрасываемых автомобильным транспортом в атмосферу при сетевой доставке груза будет осуществляться (по методике, разработанной в Липецком ГТУ):

$$Y_A = \gamma \sigma f M, \quad (5)$$

где γ - константа, численное значение которой равно 74,00 руб./усл.т (для центрального федерального округа);

σ - показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха;

f - безразмерная величина, равная для автотранспортных средств 10;

M - приведенная масса годового выброса загрязнений автотранспортным средством, усл.т/сут.

Результаты расчётов, проведенных по формуле (5) для одной и той же смены работы компании:

при существующей организации работ:

- для автомобилей MAN TGS 26.350 - $Y_A = 74$ руб./сут;

- для автомобилей MAN TGM 18.250 - $Y_A = 738,4$ руб./сут.

при внедрении предложенных решений:

- для автомобилей MAN TGS 26.350- $Y_A = 59,2$ руб./сут;

- для автомобилей MAN TGM 18.250 - $Y_A = 617,7$ руб./сут.

Следовательно, величина социально-экономического ущерба уменьшилась - на 13%.

Выводы

Разработано программное обеспечение, выполняющее цифровую трансформацию транспортно-логистических процессов сетевой доставки грузов. Использование программы позволяет определить оптимальное расположение распределительного центра по критерию времени, сформировать оптимальные маршруты доставки товара с учетом ограничений на основе использования точного метода фиктивных узлов и ветвей (ФУВ), обеспечивает возможность моделирования производственных процессов сетевой доставки груза с распределительного центра в торговые точки. Применение программного обеспечения на практике позволило сократить время на 16 %, длину на 15 % и величину социально-экономического ущерба на 13 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николин В.И., Витвицкий Е.Е., Мочалин С.М. Грузовые автомобильные перевозки: Монография / Омск: Вариант-Сибирь, 2004. 482 с.
2. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Решение задачи маршрутизации с ограничениями величины партий груза и количества пунктов // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-2(83). С.61-70.
3. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методические аспекты определения координат центра распределения материальных потоков. 2023. №4-1(83). С. 67-74.
4. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методика проектирования кольцевых маршрутов с обратным грузом. 2024. №1-3(84). С. 19-27.
5. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методические аспекты определения расположения распределительного центра на основе критерия времени методом фиктивных узлов и ветвей. 2024. №2-1(85). С. 31-38.
6. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Задача маршрутизации кольцевых схем передвижения на основе использования метода фиктивных узлов и ветвей // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-1(84). С. 22-30.
7. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методические аспекты определения координат центра распределения материальных потоков // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(83). С. 74-81.
8. Жесткова С.А. Повышение эффективности управления процессами перевозок сетевой доставки груза автомобильным транспортом. 2024. №3-3(86). С. 34-39.
9. Вольхин Е.Т. Модели размещения распределительных центров // Управленец. 2018. Т.9. №2. С. 54-60.
10. Гаджинский А.М. Выбор места расположения склада // Справочник экономиста. №8. 2004. С. 47-55.
11. Кирсанов М.Н. Теоретическая механика / под ред. А.И. Кириллова. 2-е изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 384 с.
12. Салун О.Я. Логистика. Практикум: Учеб.-мет. пособие. Минск: БГАТУ, 2018. 184 с.
13. Sho S., Haruna M., Yoshifumi N. Ant colony optimization using genetic information for TSP // Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications OLTA.2011. Japan: Kobe. P. 48-51.
14. Sedighpour M., Yousefikhoshbakht M., Narges M.D. An effective genetic algorithm for solving the multiple traveling salesman problem // Journal of Optimization in Industrial Engineering. 2012. Vol. 4. №8. P.73-79.
15. Littl J.D.C., Murty K.G., Sweeney D., Karel C. An algorithm for the traveling salesman problem // Operations Research. 1963. Vol. 11. P. 972-989.

Жесткова Светлана Анатольевна

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
К.т.н., доцент, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»
Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28
E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

S.A. GETZKOVA

IMPROVED EFFICIENCY OF CARGO DELIVERY NETWORK BASED ON THE DIGITAL TRANSFORMATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS

Abstract. This paper considers the digital transformation of transport and logistics processes of network delivery of goods, based on the use of developed software segmentation. The use of the program allows to determine the optimal location of the distribution center according to the time criterion, to form the optimal routes for delivery of goods taking into account the limitations based on the use of the exact method of fictitious nodes and branches (CVE), provides the possibility of modeling production processes of network delivery of cargo from distribution center to retail outlets.

Keywords: methodology, time, digital transformation, transport-logistic processes, curvature, linear approximation

BIBLIOGRAPHY

1. Nikolin V.I., Vitvitskiy E.E., Mochalin S.M. Gruzovye avtomobil'nye perevozki: Monografiya / Omsk: Vairi-ant-Sibir, 2004. 482 s.
2. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Reshenie zadachi marshrutizatsii s ogranicheniyami velichiny partii gruzha i kolichstva punktov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-2(83). S.61-70.
3. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodicheskie aspekty opredeleniya koordinat tsentra raspredeleniya material'nykh potokov. 2023. №4-1(83). S. 67-74.
4. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodika proektirovaniya kol'tsevykh marshrutov s obratnym gruzom. 2024. №1-3(84). S. 19-27.
5. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodicheskie aspekty opredeleniya raspolzheniya raspredelitel'nogo tsentra na osnove kriteriya vremeni metodom fiktivnykh uzlov i vetvey. 2024. №2-1(85). S. 31-38.
6. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Zadacha marshrutizatsii kol'tsevykh skhem peredvizheniya na osnove ispol'zovaniya metoda fiktivnykh uzlov i vetvey // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №1-1(84). S. 22-30.
7. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodicheskie aspekty opredeleniya koordinat tsentra raspredeleniya material'nykh potokov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-1(83). S. 74-81.
8. ZHestkova S.A. Povyshenie effektivnosti upravlenie protsessami perevozok setevoy dostavki gruzha avtomobil'nym transportom. 2024. №3-3(86). S. 34-39.
9. Vol'khin E.T. Modeli razmeshcheniya raspredelitel'nykh tsentrov // Upravlenets. 2018. T.9. №2. S. 54-60.
10. Gadzhinskiy A.M. Vybora mesta raspolzheniya sklada // Spravochnik ekonomista. №8. 2004. S. 47-55.
11. Kirsanov M.N. Teoreticheskaya mekhanika / pod red. A.I. Kirillova. 2-e izd., ispr. M.: FIZMATLIT, 2007. 384 s.
12. Salun O.YA. Logistika. Praktikum: Ucheb.-met. posobie. Minsk: BGATU, 2018. 184 s.
13. Sho S., Haruna M., Yoshifumi N. Ant colony optimization using genetic information for TSP // Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications OLTA.2011. Japan: Kobe. P. 48-51.
14. Sedighpour M., Yousefikhoshbakht M., Narges M.D. An effective genetic algorithm for solving the multiple traveling salesman problem // Journal of Optimization in Industrial Engineering. 2012. Vol. 4. №8. P.73-79.
15. Littl J.D.C., Murty K.G., Sweeney D., Karel C. An algoritm for the traveling salesman problem // Operations Research. 1963. Vol. 11. R. 972-989.

Getzkova Svetlana Anatolevna

Penza State University of Architecture and Construction

Candidate of technical sciences

Adress: 440028, Russia, Penza, Hermann Titova, 28

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

УДК 629.11

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-25-30

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

ГЕНЕЗИС НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ О РЕМОНТЕ МАШИН

***Аннотация:** В статье рассматриваются вопросы исторического анализа ремонтных работ, формирования научных представлений о ремонте машин, вклад российских учёных в исследование в области ремонта машин, структура и связь теорий науки о ремонте машин.*

***Ключевые слова:** ремонт, машины, наука, производство, обновление*

Введение

На ранней стадии развития любой науки происходит накопление и анализ фактического материала, который приводит к установлению отдельных обобщений, гипотез и законов. Дальнейший прогресс науки характеризуется не только приведением в систему результатов полученного знания, но и введением более глубоких законов и гипотез, аксиом и постулатов, из которых стремятся логически вывести все ранее известные знания.

В результате на зрелой стадии наука превращается в систему теорий, в рамках которых происходит синтез научного знания. Как правило, каждая наука включает в себя не одну, а несколько взаимосвязанных теорий [1].

Анализ происхождения научных знаний (от фактов до закономерностей) свидетельствует о неравномерном формировании знаний в различных областях, что позволяет эффективно использовать метод аналогий. При этом важное значение для каждой науки имеет обоснованное формулирование объекта и предмета науки. На определенной стадии развития возникает необходимость в интеграции научных знаний. Для современного этапа развития характерно появление таких интегрированных научных дисциплин, как химмотология, трибология, синергетика, адгезиология и др.

Материал и методы

Крупное общественное разделение труда - отделение ремесла от земледелия - сопровождалось бурным развитием обмена товаров и средств сообщения. Получили широкое распространение сани, повозки, в том числе колесные, стали сооружаться дороги. Возникла необходимость в изготовлении и ремонте повозок, а также в ковке лошадей. Одним из первых профессиональных ремонтников становится кузнец, а кузница является прообразом ремонтной мастерской. Слесарное дело отделяется от кузнечного лишь в XV столетии. В средние века слесари изготавливали замки, решетки, железную мебель и т.д., а позднее кузнецы, слесари и механики создают различного рода рабочие орудия и машины, которые в процессе использования необходимо было обслуживать и ремонтировать.

Так английский кузнец Т. Ньюмен (1663 - 1729 гг.) создал пароатмосферную машину, которая применялась для откачки воды из рудника (1712 г.). Механик университета г. Глазго Джеймс Уатт (1736 - 1819 гг.), ремонтируя модель такой машины, усовершенствовал ее (1782 г.), в результате чего фактически был создан тепловой двигатель. Большой вклад в развитии идеи парового транспорта внес Д. Стефенсон (1741 - 1848 гг.) - , работающий помощником кочегара, занимался починкой часов, ремонтом машин. В 1814 г. он испытывал свой первый паровоз, в дальнейшем создает ряд более совершенных паровозов, занимается строительством железных дорог в Англии.

Теория

Развитие железнодорожного транспорта потребовало анализа эксплуатации железных дорог. Проводятся исследования, издается специальная литература. Одной из первых работ в

этом отношении является книга [2] английского ученого Д. Ларднера (1793 - 1859), автора работ в области естественных наук, философии, и политической экономии. В своей работе он анализирует развитие железнодорожного транспорта, его содержание и ремонт (большой и малый ремонт паровозов). В различных странах создаются мастерские для ремонта паровозов и вагонов.

В институте гражданских инженеров (Англия) был сделан ряд докладов по проектированию, содержанию и ремонту железных дорог, в том числе доклад «О содержании и обновлении железнодорожного пути» английским инженером, специалистом по экономике железнодорожного транспорта Р.П. Уильямсом (29 марта 1866 г.), а также доклад по содержанию подвижного состава на прусских железных дорогах [3].

В этот период (март 1865 - май 1866) вопросы эксплуатации и содержания железных дорог рассматривались в Королевской железнодорожной комиссии, в которой показания давали представители железнодорожных компаний. Анализ материалов комиссии свидетельствует о пристальном внимании к вопросам ремонта, разделению работ по ремонту и обновлению, велись дискуссии по этим вопросам.

Таким образом, в середине XIX века в Англии сложилось определенное понимание вопросов ремонта. Наряду с термином «ремонт» (repair) получил распространение термин «обновление» (renewal), который связывался с заменой изношенных и поврежденных частей колеса или паровоза. Например, у колес заменялись бандажи после их недопустимого износа по толщине. Это вполне объяснимо, так как существовала кузнечная сварка, а электросварка еще не была открыта.

Появление и развитие железнодорожного транспорта в России связано было с использованием зарубежного опыта, в том числе и в области ремонта подвижного состава. Иностранные фирмы начали осуществлять ремонт и содержание подвижного состава Николаевской железной дороги на коммерческих началах. Такими контрагентами с 1843 по 1869 г. последовательно были: американская фирма братьев Уайненс, ее сменила французская фирма, а затем вновь был заключен контракт с американской фирмой Уайненс на период с 1866 по 1874 г. [4]. Это в значительной степени привело к тому, что в начале 80-х годов ремонт стал одним из самых «больных мест» в железнодорожном транспорте. На ремонт приходилось от 15 до 25% всех эксплуатационных расходов [5]. Причиной этому явилась слабая техническая оснащенность мастерских и пренебрежение к их созданию и развитию из-за погони за прибылями. Служба подвижного состава почти на всех русских дорогах была почти полностью в руках иностранцев, частью даже не знавших русского языка. Известный конструктор и организатор ремонтного производства главный инженер подвижного состава Юго-Западных железных дорог инженер-технолог и инженер путей сообщения А.П. Бородин (1878 - 1898 гг.) писал: «Большинство из них были люди без всякого образования и развития (часто и без нравственных принципов), ревниво оберегавшие службу подвижного состава от вторжения в нее русских технических сил...» [6].

Начиная с 70-х годов, сначала технологи, а затем и инженеры стали завоевывать позиции в службе подвижного состава и мастерских. Были опубликованы оригинальные работы по этим вопросам. Почти полное отсутствие самостоятельной литературы по железнодорожному делу не давало возможности продвигать его вперед.

Обобщив семилетнюю практику работы по службе тяги, инженер путей сообщения Н. Демчинский (1851 - 1914) опубликовал одну из первых отечественных работ, посвященную ремонту паровозов [7]. Эта работа является оригинальной, творческой, существенно отличной от зарубежных работ. В ней, пожалуй, впервые поставлен и разрешен ряд важных методологических вопросов и прежде всего вопросы о видах и системе ремонта, периодичности ремонтных работ, методике расчета потребного оборудования для ремонта паровозов. Совершенно справедливо подвергнув критике деление ремонтов как по стоимости, так и по продолжительности, автор предложил классифицировать ремонтные работы по их содержанию и выделил три вида ремонта паровозов: капитальный, большой и малый.

Аналогичная классификация видов ремонтов паровозов рассмотрена Н.Чайковским (1838 - 1911), сотрудником комиссии по исследованию железнодорожного дела в России, бывшим начальником службы подвижного состава и тяги [8].

Важное значение для распространения технических знаний в России имело издание журнала «Инженер». Идея издания независимого частного лишенного коммерческих целей ежемесячного журнала возникла у группы инженеров (А.П.Бородин, Н.А.Демчинский, Э.Г.Гаррис, Д.К.Волков, Э.Э.Лауберг и А.А.Абрагамсон) в Киеве, где были сосредоточены большие технические силы после слияния нескольких дорог в Юго-Западные железные дороги. Журнал начал издаваться в 1882 г. в Киеве, его редактором стал Н.А.Демчинский, а после его выезда из Киева в 1885 г. редактором становится А.П.Бородин.

Большое влияние на распространение технических знаний и выяснение различных вопросов службы подвижного состава оказали учрежденные в конце 70-х годов XIX столетия совещательные съезды инженеров службы подвижного состава и тяги. В период с 1879 по 1898 г. состоялось 20 таких съездов. Они проходили в Москве, Петербурге, Киеве, Одессе, Риге и других городах. На съездах было рассмотрено 60 вопросов по ремонту и содержанию паровозов, около 80 вопросов о пассажирских и товарных вагонах, сделано 20 сообщений о различных изобретениях.

Ремонт подвижного состава в России осуществлялся в казенных мастерских и мастерских частных обществ, выкуп которых государством начался в конце XIX в. Первые мастерские были построены на Царскосельской дороге. Для постройки и содержания подвижного состава Николаевской дороги были назначены: а) Александровский чугунный завод; б) небольшие мастерские при каждом как главном, так и оборотном депо, расположенном на линии. Лучшими по организации производства в конце XIX в. были мастерские Одесские (начальник – инженер-технолог С.Ф.Стемпковский) и Киевские (начальник – инженер-технолог Г.О.Каменский). В них разрабатывались эффективные мероприятия по ремонту паровозов, предлагавшиеся А.П.Бородиным. После посещения 17 августа 1884 г. Киевских главных мастерских Министр путей сообщения генерал-адъютант К.Посвет в своем приказе от 16 сентября 1884 г. № 177 отметил, что мастерские доведены до образцового состояния не только в отношении наружного их вида, но, особенно, в правильном распределении труда и применении новейших станков и механических усовершенствований.

С началом бурного развития автомобильного транспорта в начале XX века возникла необходимость обслуживания и ремонта автомобилей. Основателем автомобильного дела в России стал И.В.Грибов (1881-1945гг.), который опубликовал одну из первых работ по ремонту автомобилей [9].

С 1933 г. профессор Грибов И.В. заведовал кафедрой в Военно-транспортной академии и читал курс лекций по ремонту автомобилей (г. Москва). Первым заведующим кафедрой по авторемонтному делу стал профессор Вейрих В.Э. (1892-1942гг.), опубликовавший в 1934 г. фундаментальный труд [10]., в котором были заложены основы научной разработки вопросов ремонтного дела.

Профессор, д.т.н. В.И.Казарцев (1903-1968гг.) с 1945 по 1956 г. заведовал кафедрой ремонта автомобилей и тракторов Военно-транспортной академии (г. Ленинград), опубликовал ряд учебников, последнее издание вышло в 1961 г. [11].

Дальнейшее развитие теоретических и практических вопросов ремонта автомобилей было выполнено у профессоров В.А. Шадричева [12] и К.Т. Кошкина [13]. Г.А. Малышевым была впервые предпринята попытка обобщить теоретические вопросы авторемонтного производства [14].

Первым д.т.н. в области ремонта автомобилей стал В.В.Ефремов за разработку диссертации: «Методика построения номенклатуры обслуживания и ремонта автомобилей на базе изучения износов их деталей».

На основе исторического и логического анализа ремонтных работ д.т.н., профессором Мотовилиным Г.В. [15] предложено рассматривать потребительскую стоимость машин с

двух позиций: с точки зрения уровня и меры потребительской стоимости, а учитывая положения науковедения, выполненные исследования и практику ремонта, им рассмотрена наука о ремонте машин, включающая несколько теорий [16] (рис. 1).

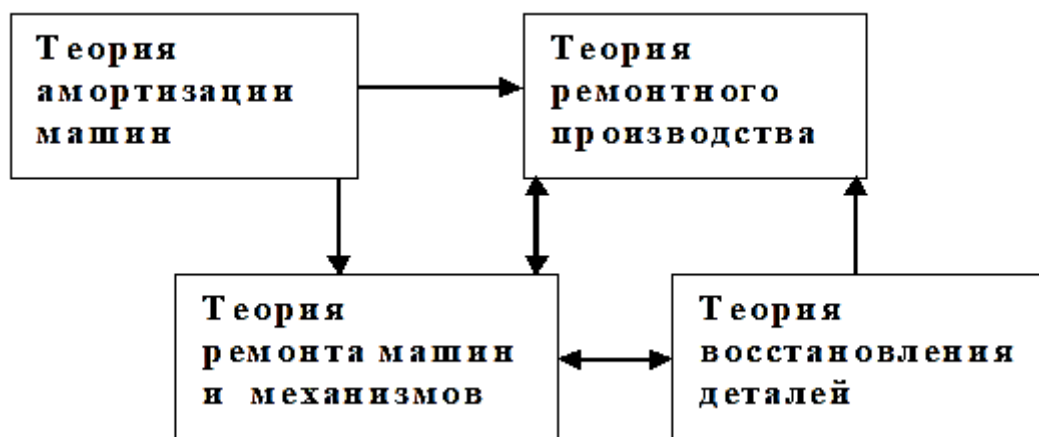


Рисунок 1 – Наука о ремонте машин

Предметом науки о ремонте машин являются закономерности ремонтного производства, т.е. фактически предметом являются закономерности производственного процесса превращения неисправной или неработоспособной машины в исправную, цель которого восстановление меры потребительной стоимости [17].

Результаты и обсуждение

Вообще же в области технологии ремонта было мало публикаций. Вместе с тем, несмотря на небольшой объем и конспективный характер, книга инженера В.Арциша (бывшего начальника мастерских), читавшего лекции в Кременчугском техническом железнодорожном училище, выдержала несколько изданий [18]. Большое внимание в ней было уделено ремонту колес и паровой машины, в частности указано, что идея постановки втулок в паровозные изношенные цилиндры принадлежит Елецким мастерским, где впервые она была применена в 1880 г. на паровозе Зигля. Книга В.Арциша представляла в определенной мере достаточно строгое изложение вопросов, чего нельзя сказать о работе немецкого специалиста Г.Хедера [19], в которой переводчик подстрочными примечаниями пояснял мысли автора с тем, чтобы придать большую научность книге, изложенной элементарно.

В журнале «Инженер» оперативно освещались вопросы железнодорожного дела, в том числе ремонта и эксплуатации подвижного состава, работа совещательных съездов, обзор зарубежных журналов, публиковались достижения технического прогресса. «Одно из новейших применений электричества – это изобретение Н.Н.Бенардоса: плавление, сваривание и паяние металлов с помощью электрической теплоты», – писалось в журнале [20]. Ремонт металлических железнодорожных изделий с помощью электричества осуществлялся в Воронежских паровозных мастерских с 1887 г. [21]. С изобретателем электрогефеста был заключен договор 20 октября 1887 г. сроком на 10 лет. Этот способ применялся также в Рославльских и других мастерских. В главных мастерских Николаевской ж.д. (Петербург) применение дуговой электросварки при ремонте паровозов началось в 1889 г. и было организовано «Русским товариществом электрической обработки металлов», использовавшим способы электросварки Н.Н.Бенардоса (1842 – 1905) и Н.Г.Славянова (1854 – 1897). Впервые свое изобретение «Электрическая отливка металлов» Н.Г.Славянов применил на казенных заводах в ноябре 1888 г. при сварке вала паровой машины. На основе технико-экономического анализа ряда проведенных работ он считал, что применение его метода наиболее эффективно при применении ремонтно-восстановительных работ, а руководимая им «Электролитейная фабрика» выполняла такие работы, т. е. Фактически это была специализированная фабрика.

Выводы

Будущее показало перспективность этого способа как в машиностроении, так и в ремонтном производстве, где этот способ прежде всего доказал свою применимость и эффективность. Это открыло новое направление в ремонтном деле – восстановление металлических деталей, которое наиболее полное свое развитие получило в XX в.

На основе технико-экономического анализа ряда проведенных работ в целом ремонт машин в общественном производстве можно рассматривать как элемент самоорганизации. Следовательно, дальнейшее развитие науки о ремонте машин должно проходить с учетом синергетического подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рачков П.А. Наукоеведение. Проблемы, структура, элементы. М.: Московский ун-т, 1974. 240 с.
2. Lardner D. Railway Economi. London, 1850.
3. Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. XXV Session 1865-1866. London, 1866.
4. Royal commission on railways. Minutes of evidence taken before the commissioners // Presented of both Houses Parliament by command of Her Majesty. 1866. London. 1866.
5. Contrakt for the Remount of the Moving Machinery of the St. Petersburg and Moscow Railway, 1850.
6. Бородин А.П. Служба подвижного состава на Юго-Западных железных дорогах в период десятилетия 1880-1889 гг., 1895.
7. Демчинский Н. Практика службы подвижного состава и тяги. Вып.1. Паровозные мастерские. СПб, 1881.
8. Чайковский Н. Хозяйство железных дорог по отделу подвижного состава и тяги. СПб, 1881.
9. Грибов И.В. Ремонт автомобилей. Автомобильные мастерские. Производство ремонта. М.-Л.: Госиздат, 1928. 274 с.
10. Вейрих В.Э. Авторемонтное производство. Л.: ОПЛЗ; Гострансиздат, 1934. 198 с.
11. Казарцев В.И. Ремонт машин. М.-Л.: Сельхозиздат, 1961. 242 с.
12. Технология авторемонтного производства / под ред. К.Т. Кошкина. М.: Транспорт, 1969. 272 с.
13. Шадрин В. А. Основы выбора рационального способа восстановления автомобильных деталей металлопокрытиями. М.-Л.: Машгиз, 1962. 176 с.
14. Малышев Г.А. Теория авторемонтного производства. М.: Транспорт, 1977. 214 с.
15. Мотовилин Г.В. Экономика ремонта боевых и транспортных машин. Л.: ВАТТ, 1973. 154 с.
16. Мотовилин Г.В. Восстановление армейской автомобильной техники. Л.: ВАТТ, 1981. 238 с.
17. Назаркин В.Г. Научные знания о ремонте машин // Архитектура - строительство – транспорт: Материалы 72-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. 2016. С. 97-101.
18. Арциш В. Порча и ремонт паровоза. Вып.2. Порча и ремонт экипажа и паровой машины паровоза. Пенза, 1894.
19. Хедер Г. Большая паровая машина и первая помощь в несчастных случаях с нею / Пер. с нем. А.И. Сидорова. М., 1902.
20. Инженер // 1891. №1. С.1.
21. Инженер // 1892. №4. С. 151-154.

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

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

Полуэктов 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

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

GENESIS OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE ABOUT MACHINE REPAIR

Abstract. *The article deals with the issues of historical analysis of repair work, the formation of scientific ideas about the repair of machines, the contribution of Russian scientists to research in the field of machine repair, the structure and relationship of theories of the science of machine repair.*

Keywords: *repair, machinery, science, production, depreciation*

BIBLIOGRAPHY

1. Rachkov P.A. Naukovedenie. Problemy, struktura, elementy. M.: Moskovskiy un-t, 1974. 240 s.
2. Lardner D. Railway Economi. London, 1850.
3. Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. XXV Session 1865-1866. London, 1866.
4. Royal commission on railways. Minutes of evidence taken before the commissioners // Presented of both Houses Parliament by command of Her Majesty. 1866. London. 1866.
5. Kontrakt for the Remount of the Moving Machinery of the St. Petersburg and Moscow Railway, 1850.
6. Borodin A.P. Sluzhba podvizhnogo sostava na YUgo-Zapadnykh zheleznykh dorogakh v period desyatiletia 1880-1889 gg., 1895.
7. Demchinskiy N. Praktika sluzhby podvizhnogo sostava i tyagi. Vyp.1. Parovoznye masterskie. SPb, 1881.
8. CHaykovskiy N. Hozyaystvo zheleznykh dorog po otdelu podvizhnogo sostava i tyagi. SPb, 1881.
9. Gribov I.V. Remont avtomobiley. Avtomobil'nye masterskie. Proizvodstvo remonta. M.-L.: Gosizdat, 1928. 274 s.
10. Veyrikh V.E. Avtoremontnoe proizvodstvo. L.: OPLZ; Gostransizdat, 1934. 198 s.
11. Kazartsev V.I. Remont mashin. M.-L.: Sel'khozizdat, 1961. 242 s.
12. Tekhnologiya avtoremontnogo proizvodstva / pod red. K.T. Koshkina. M.: Transport, 1969. 272 s.
13. Shadrichiev V. A. Osnovy vybora ratsional'nogo sposoba vosstanovleniya avtomobil'nykh detaley metallo-pokrytiyami. M.-L.: Mashgiz, 1962. 176 s.
14. Malyshev G.A. Teoriya avtoremontnogo proizvodstva. M.: Transport, 1977. 214 s.
15. Motovilin G.V. Ekonomika remonta boevykh i transportnykh mashin. L.: VATT, 1973. 154 s.
16. Motovilin G.V. Vosstanovlenie armeyskoy avtomobil'noy tekhniki. L.: VATT, 1981. 238 s.
17. Nazarkin V.G. Nauchnye znaniya o remonte mashin // Arkhitektura - stroitel'stvo - transport: Materialy 72-y nauchnoy konferentsii professorov, преподаvateley, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta. 2016. S. 97-101.
18. Artsish V. Porcha i remont parovoza. Vyp.2. Porcha i remont ekipazha i parovoy mashiny parovoza. Penza, 1894.
19. Heder G. Bol'naya parovaya mashina i pervaya pomoshch' v neschastnykh sluchayakh s neyu / Per. s nem. A.I. Sidorova. M., 1902.
20. Inzhener, 1891. №1. S.1.
21. Inzhener, 1892. №4. S. 151-154.

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

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

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

УДК 656.137

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-31-36

И.В. АРИФУЛЛИН

КОМПЛЕКСНАЯ ИТС ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В АЭРОПОРТАХ

Аннотация. В настоящее время парк аэродромной техники аэропортов, имеет серьезный технический износ и российские компании-эксплуатанты имеют трудности в закупке запасных частей для их своевременного обслуживания. В этой связи по всей стране требуется создание новой эффективной системы обеспечения запасными частями специальной автотранспортной техники ввиду комплексных различий: требования производителей и эксплуатантов, разномарочность, транспортная логистика доставки запасных частей.

Ключевые слова: система поставок, логистические принципы, специальные автотранспортные средства, комплектующие и запасные части

Введение

В связи с мировыми ограничениями, введенными по отношению к Российской Федерации, в том числе закрытием воздушного пространства ряда стран для гражданских самолетов России, в нашей стране произошёл рост внутренних авиационных перевозок. Для обеспечения летной готовности воздушных судов, а также для обеспечения безопасности воздушных перевозок немаловажным фактором является обслуживание и обеспечение комплектующими парка аэродромной техники аэропортов России. Ряд российских эксплуатантов аэродромной техники начал закупать специальные автотранспортные средства в Китае и других иностранных государствах, другие ориентируются на внутренний рынок техники или эксплуатацию старого парка техники.

Одним из ключевых факторов эффективности обслуживания специальных автотранспортных средств (САТС) аэропортов России, включая все сопутствующие процессы, в том числе транспортную логистику, является его экономическая эффективность. В этой связи неэффективно выстроенная транспортная логистика доставки запасных частей ведёт к производственным простоям САТС и, как следствие, экономическим потерям. Решить данную проблему возможно путем построения эффективной системы поставок комплектующих и запасных частей для САТС, оптимизирующей процесс по ряду критериев эффективности.

Транспортные системы, являясь частью открытых систем и играют ключевую роль в экономике и социальной жизни общества. Включая в себя различные виды транспорта: от автомобилей до авиалиний. Управление такими системами требует глубоких знаний и применения научных методов, чтобы обеспечить их эффективность, безопасность и устойчивость.

Научные основы управления интеллектуальными транспортными системами затрагивают широкий спектр дисциплин, включая математическое моделирование, системный анализ, информационные технологии и кибернетику. Исследователи и инженеры постоянно работают над разработкой новых теоретических моделей и практических инструментов для управления потоками, оптимизации маршрутов и повышения безопасности передвижения.

В данной статье рассмотрены ключевые научные идеи, концепции об открытой системе, характеризуется роль её отдельных элементов и инжиниринга в её развитии, для дальнейшего развития методов, инноваций, лежащих в основе управления сложными транспортными системами [7].

Материал и методы

В связи с развитием новых цифровых технологий, которые модернизируются стремительными темпами, интеллектуальным транспортным системам требуется комплексная адаптация к новым реалиям. Все нововведения требуют глобального переосмысления каким образом мы формируем открытые системы. Одной из передовых концепций является «Киберфизическая система» (CPS), которая формирует синергию между ЭВМ и физическими процессами. Помимо широко описанных теоретических основ происходит практическое внедрение данной концепции во многие технические сферы, в том числе и созданием транспортных систем [1]. В свою очередь стоит отметить, что технологии как могут решить трудные задачи, так и их усложнить. Перед внедрением инноваций необходимо изучать характеристики и потенциал развития открытых систем [5]. Данные системы интегрируют трансформацию и обмен сведениями, тем самым снижают уровень своей энтропии [6, 7].

Ниже приведён пример модели, которая применима в организациях, занимающихся перевозками, транспортным планированием, а также обслуживанием транспортных средств, смоделированной на теории множеств.

$$S \text{ def} \equiv SiF, TECH, SR, COND, N, \quad (1)$$

где $S = \{s\}$ – совокупность целей и функций открытой системы;

SiF – содержание процесса управления открытой системы и формы его реализации;

$STR = \{STR_{\text{пр}}, STR_{\text{орг}}, \dots\}$ – совокупность структур, реализующих цели (например, для предприятия $STR_{\text{пр}}$ – производственная, $STR_{\text{орг}}$ – организационная и т. д.);

$TECH = \{\text{meth, means, alg, } \dots\}$ – совокупность технологий (методов meth , средств means , устройств, алгоритмов alg и т. д.), реализующих становление и развитие системы;

SR – среда, с которой взаимодействует открытая система;

$COND = \{\text{фех, фін}\}$ – факторы, влияющие на процесс управления функционированием и развитием системы (фех – внешние, фін – внутренние);

N – стейхолдеры (по Р. Аккофу), то есть лица, занимающиеся созданием программ и алгоритмов, вносящие инновации в технологии, формирующие процедуры для эффективного принятия решений в управлении, определяющие цели, выбирающие подходы к моделированию и инструменты для контроля.

При формировании выводов работы системы необходимо опираться на изучении природы процессов. Эти выводы говорят о том, для управления живыми процессами путём только искусственных систем безусловно ведет к неопределенности. Следовательно, чтобы эффективно оперировать в открытых системах необходима гибкость и самоорганизация, что в свою очередь приведет к необходимой адаптации и синхронизации систем. Как правило модели системы являются «описательными» или «интерпретирующими» [3].

Теория

Инновации из внешней среды, как правило, адаптируются «внешней» средой, руководствуясь решениями «внутренних» участников системы, тем самым можно констатировать что эволюция производственных систем происходит благодаря как «окружающей» среды, так и участников системы.

В целях синхронизации работы открытой транспортной системы, где применяется искусственные процессы, необходимо определить активные компоненты, которые обладают уникальными свойствами. Благодаря этому можно добиться появлению целостных (эмерджентных) качеств. Стоит отметить, что быстрое внедрений новых технологий, может привести к отрицательным последствиям для организаций, так как они не прошли комплексную апробацию. В целях минимизации таких рисков необходимо формировать стратегию устойчивого развития, где подробно учесть все риски от внедрения и применения новых технологий.

Современные познания свидетельствуют, что такие новшества могут внести кардинально изменить привычную деятельность, причем не всегда в позитивную сторону. В этой связи организациям следует прорабатывать механизмы по созданию специальных систем стабильности при внедрении инновационных методик и подходов [4].

Как правило, инновационные подходы, которые, возможно, и приведут к кратковременному «хаосу», в итоге способствуют формированию (укреплению) стабильной системы. Данные противоречия можно понять, используя основы системного подхода. Эти основы изучают неупорядоченные и упорядоченные действия системы, выделяя ключевые моменты.

Закономерность целостности проявляется в следующем:

1) свойства системы (целого) Q_s не является простой суммой свойств, составляющих её элементов q_i :

$$Q_s \neq \sum_{i=1}^n q_i; \quad (2)$$

2) свойства системы (целого) зависят от свойств, составляющих её элементов:

$$Q_s = f(q_i). \quad (3)$$

Законы, подчеркивающие целостность, контрастируют с аддитивным принципом, объясняющим, что системы состоят из различных компонентов. В тоже время внедрение системы уровней в структуре организует новые непредсказуемые для управления атрибуты. Важно отметить, что возникающая неопределенность может стать причиной появления новых свойств, которые не произошли бы без соответствующего взаимодействия.

Любое предприятие внедряющее инновационные подходы стремится создать идеальную модель работы системы. В этой связи необходимо прорабатывать специальные модели, использующие ИТ технологии, которые способны оценить интеграцию и работоспособность:

$$a = -\frac{C_b}{C_o} \quad (4)$$

и коэффициента использования элементов в целом:

$$\beta = C_c / C_o, \quad (5)$$

где C – оценка информационной сложности системы $C = J \cap H$;

J – информация восприятия;

H – информационная сущность (потенциал);

C_c, C_o, C_b – системная, собственная и взаимная сложности системы.

$$C_c = C_o + C_b. \quad (6)$$

Результаты

На основании описанного, для решения вопроса оптимизации процессов поставки комплектующих и запасных частей введем показатель (C) экономической эффективности системы: который включает в себя затраты на хранение запасов $C_{xp}(t)$, и затраты на транспортирование $C_{tp}(t)$, при минимизации ущерба, наносимого качеству эксплуатации специальной техники при увеличении сроков простоя, обусловленных отсутствием комплектующих $Y_{np}(t)$:

$$\begin{cases} C = C_{xp}(t) + C_{tp}(t) \rightarrow \min \\ Y = Y_{np}(t) \rightarrow \min \end{cases}. \quad (7)$$

Рассматриваемая модель связана с концепциями «точно в срок» и «логистикой быстрого реагирования»

$$z = c_1 T_{нп.г} + c_2 \int_0^T q_{1\tau} d\tau + c_3 \int_0^T (q_0 + q_{2\tau}) d\tau + c_4 2 \sum_j (t_{п.в1} \Pi_j + t_{дв1} l_j), \quad (8)$$

где q_0 – наличие продукции на базе в момент времени τ , т;

q_τ – количество запасных частей, поступившей на ЕЦП в момент времени τ , т;

$q_{1\tau}$ – количество запасных частей, обработанной обоими методами за сутки, т;

$q_{2\tau}$ – количество запасных частей, выгруженной на ЕЦП и обработанной методом «поставка-склад-автомобиль-потребитель» за сутки, т;

Π_i – годовая потребность в запасных частях j -го потребителя, т;

Π_τ – суточная потребность в запасных частях, т;

l_i – длина ездки от ЕЦП до i -го потребителя, км;

$t_{п.в1}$ – время погрузки или разгрузки 1-ой тонны запасных частей, час/т;

$t_{дв1}$ – время движения автомобиля, приходящееся на 1-н километр, час/км;

A_r – среднее количество единиц подвижного состава, привлекаемое к перевозкам запасных частей, ед;

t_n – время работы 1-го автомобиля в наряде за сутки, час/сут;

$T_{нг.}$ – производительное время работы 1-го автомобиля в наряде (погрузка-разгрузка), час/год;

$T_{нп.г.}$ – непроизводительное время работы 1-го автомобиля в наряде (простой в ожидании погрузки на ЕЦП), час/год;

α_p – среднее время работы 1-го автомобиля, отнесённое к 1-ой тонне запасных частей при доставке её с ЕЦП потребителям;

c_1 – стоимость 1-го час непроизводительного пребывания автомобиля в наряде, руб/час;

c_2 – стоимость погрузки и выгрузки 1-ой тонны запасных частей, руб/час;

c_3 – стоимость хранения 1-ой тонны запасных частей на ЕЦП за сутки, руб/час;

c_4 – стоимость транспортировки 1-ой тонны запасных частей, руб/час;

T – период моделирования, год; $d\tau$ – время пребывания груза на ЕЦП, сут.

Обсуждение

Принимая во внимание увеличивающийся объем данных и возросшую сложность транспортных систем, применение технологий, таких как искусственный интеллект (AI) и большие данные, становится ключевым элементом в управлении и анализе транспортных систем для прогнозирования тенденций и поведения пользователя, оценки воздействия на окружающую среду и создания интеллектуальных транспортных решений.

Управление транспортными системами в современном мире предполагает не только учет текущего состояния системы, но и предвидение будущих изменений для поддержания устойчивости и гибкости в долгосрочной перспективе. Так, важную роль играют информационные технологии, которые позволяют собирать, обрабатывать и анализировать огромные объемы данных в реальном времени. Применение таких технологий способствует повышению эффективности и надежности транспортных систем, а также улучшению условий безопасности. Например, одной из ключевых технологий является система GPS, обеспечивающая точное позиционирование транспортных средств. В сочетании с ГИС (Геоинформационными Системами), GPS позволяет не только отслеживать местоположение, но и планировать оптимальные маршруты с учетом текущего трафика [2].

Для обработки больших данных применяются системы, основанные на принципах искусственного интеллекта и машинного обучения. Эти системы способны анализировать поведение потоков транспорта, предсказывать возможные проблемы и предлагать решения для предотвращения дорожных заторов и аварий.

Интеллектуальные транспортные системы становятся все более интегрированными благодаря развитию технологий межмашинного взаимодействия и интернета вещей. Это позволяет устройствам в реальном времени обмениваться данными и координировать действия, обеспечивая более плавное и согласованное движение потоков.

Современные системы управления трафиком, такие как интеллектуальные транспортные системы (ИТС), включают в себя сенсоры и камеры на дорогах, которые передают информацию в центры управления транспортом. Там данные обрабатываются, и на основе этого могут быть внесены корректировки в сигнализацию светофоров, информационные дорожные знаки и другие механизмы регулирования дорожного движения. Стоит также отметить, что инфраструктура аэропортов значительно отличается друг от друга, что в свою очередь меняет режим работы специального автотранспорта, эксплуатируемого на аэродроме и на аэровокзальном комплексе, что добавляет дополнительные элементы, влияющие на неопределенность процессов и системы в целом.

Помимо прочего, в качестве открытой транспортной системы подразумеваются, например, аэропорты, где происходит взаимодействие множества отделов, структур, отвечающих за определенные функции, что в совокупности представляет собой управление сложной транспортной системой, начиная от проверки пассажиров по прибытии в аэропорт,

оформление, заканчивая посадкой пассажиров в воздушное судно и перевозкой их до места следования, где специалисты на всем пути следования отслеживают каждое воздушное судно, погодные условия по пути следования и т.д.

Выводы

Таким образом, управление потоками в сложных транспортных системах требует интеграции передовых научных подходов и новейших технологий. Сегодня в центре внимания исследователей - методы искусственного интеллекта и машинного обучения, способные в реальном времени анализировать огромные массивы данных о движении транспорта, предсказывать загрузку исследуемых объектов и оптимизировать маршруты как для обычных пользователей, так и для компаний, например, по перевозке грузов (запасных частей) наземным или воздушным транспортом. Ключевой управляющий параметр – количество транспорта, задействованного в транспортировке комплектующих. При проведении расчётов необходимо вывести зависимость затрат на транспортировку в зависимости от количества транспорта, задействованного в перевозке товара. В идеальной ситуации минимум суммарных затрат поспособствуют определению оптимального количества транспортных средств необходимых для транспортировки комплектующих. Описанный метод, обеспечивает целостную структуру обеспечения комплектующими и обеспечивает уменьшение издержек при организации перевозочного процесса в сложной транспортно-логистической системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова В.Н., Логинова А.В., Черненькая Л.В., Романова Е.В., Черный Ю.Ю., Ланкин В.Е. Проблемы устойчивого развития социально-экономических систем при внедрении инноваций // Материалы 3-й Международной конференции по человеческому фактору в сложных технических системах и средах, 2019 3. 2018. С. 52-56.
2. Волкова В.Н., Логинова А.В., Леонова А.Е., Черный Ю.Ю. Подход к сравнительному анализу и выбору технологических инноваций третьей и четвертой промышленных революций // XXI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018): Сборник докладов в 2-х томах. 2020. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 372-377.
3. Волкова В.Н., Кудрявцева А.С. Модели для управления инновационной деятельностью промышленного предприятия // Открытое образование. 2019. №22(4). С. 65-74.
4. Кудрин А.Л. Экономическое развитие России. Т.1. Москва: Дело РАНХиГС, 2020. 472 с.
5. Шваб К., Дэвис Т. Технологии четвертой промышленной революции. М.: Издво «Э», 2019. 321 с.
6. Эрвин С. Бауэр. Теоретическая биология. Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. 280 с.
7. Цепковская Т.А., Львович Я.Е. Анализ в транспортных системах инструментальных компонентов // Сборник статей XIII Международной научно-технической конференции. Курск. 2021. С 325-327.
8. Трацевский В.В. Имитационное моделирование в системе транспортной логистики при помощи Anylogic // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты: Труды II Международной научно-практической конференции. Брянский государственный инженерно-технологический университет. 2019. С697-701.
9. Чебыкин И.А. Автоматизация мониторинга дорожного движения с помощью компьютерного зрения. // Мир транспорта. №6. 2020. С. 74-87.
10. Семенова А.А, Малахов А.А. Долгосрочное прогнозирование и планирование развития логистических систем транспорта России в условиях цифровизации экономики // Инновации и инвестиции. №5. 2019. С. 277-281.
11. Реутов Е.В., Королев Я.С. Конкурентоспособность цепочек поставок при управлении развитием транзитных грузопотоков по региональным транспортным системам России и стран СНГ // Транспортное дело России. №1. 2022. С 177-178.
12. Рогавичене Л.И., Емец А.В. Внедрение беспилотных транспортных средств в инфраструктуру Санкт-Петербурга: исследование проблем // Журнал Мир транспорта. 2022. №2. С. 52-59.
13. Жгулев С.С. Обоснование эффективности автоматизации транспортных потоков агропромышленного предприятия // Инновационные технологии в АПК: Теория и практика. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института экономики. Казань. 2021. С. 61-64.
14. Баранов Л.А., Сафронов А.И., Сидоренко В.Г. Планирование движения поездов в интеллектуальных транспортных системах // Надежность. 2022. Т. 22. №3. С. 35-43.
15. Карабашева М.Р. Методы исследования национальных транспортных систем Проблемы экономики и юридической практики. 2019. Т. 15. №6. С. 99-106.

Илья Владимирович Арифиллин

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64

К.т.н., доцент кафедры «Транспортная телематика»

E-mail: arifullin@madi.ru

I.V. ARFULLIN

COMPREHENSIVE ITS FOR MAINTENANCE AND LOGISTICS OF SPECIAL VEHICLES OPERATED AT AIRPORTS

Abstract. *Currently, the airport's fleet of airfield equipment has serious technical wear and tear, and Russian operating companies have difficulty purchasing spare parts for their timely maintenance. In this regard, the creation of a new effective system for providing spare parts for special motor vehicles is required throughout the country due to complex differences: requirements of manufacturers and operators, diversity, transport logistics of spare parts delivery.*

Keywords: *efficiency, supply logistics, maintenance, spare parts, special vehicles*

BIBLIOGRAPHY

1. Volkova V.N., Loginova A.V., Chernen`kaya L.V., Romanova E.V., Chernyy YU.YU., Lankin V.E. Problemy ustoychivogo razvitiya sotsial`no-ekonomicheskikh sistem pri vnedrenii innovatsiy // Materialy 3-y Mezhdunarodnoy konferentsii po chelovecheskomu faktoru v slozhnykh tekhnicheskikh sistemakh i sredakh, 2019 3. 2018. S. 52-56.
2. Volkova V.N., Loginova A.V., Leonova A.E., Chernyy YU.YU. Podkhod k sravnitel`nomu analizu i vyboru tekhnologicheskikh innovatsiy tret`ey i chetvertoy promyshlennykh revolyutsiy // XXI Mezhdunar. konf. po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM-2018): Sbornik dokladov v 2-kh tomakh. 2020. SPb.: SPbGETU «LETI». S. 372-377.
3. Volkova V.N., Kudryavtseva A.S. Modeli dlya upravleniya innovatsionnoy deyatel`nost`yu promyshlennogo predpriyatiya // Otkrytoe obrazovanie. 2019. №22(4). S. 65-74.
4. Kudrin A.L. Ekonomicheskoe razvitie Rossii. T.1. Moskva: Delo RANHiGS, 2020. 472 s.
5. SHvab K., Devis T. Tekhnologii chetvertoy promyshlennoy revolyutsii. M.: Izdvo «E», 2019. 321 s.
6. Ervin S. Bauer. Teoreticheskaya biologiya. Moskva, Izhevsk: Regul'yarnaya i khaoticheskaya dinamika, Institut komp`yuternykh issledovaniy, 2019. 280 c.
7. Tsepkovskaya T.A., L`vovich YA.E. Analiz v transportnykh sistemakh instrumental`nykh komponentov // Sbornik statey XIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Kursk. 2021. S 325-327.
8. Tratshevskiy V.V. Imitatsionnoe modelirovanie v sisteme transportnoy logistiki pri pomoshchi Anylogic // Tsifrovoy region: opyt, kompetentsii, proekty: Trudy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Bryanskiy gosudarstvennyy inzhenerno-tekhnologicheskii universitet. 2019. S697-701.
9. Chebykin I.A. Avtomatizatsiya monitoringa dorozhnogo dvizheniya s pomoshch`yu komp`yuternogo zreniya. // Mir transporta. №6. 2020. S. 74-87.
10. Semenova A.A., Malakhov A.A. Dolgosrochnoe prognozirovanie i planirovanie razvitiya logisticheskikh sistem transporta Rossii v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki // Innovatsii i investitsii. №5. 2019. S. 277-281.
11. Reutov E.V., Korolev YA.S. Konkurentosposobnost` tsepochek postavok pri upravlenii razvitiem tranzitnykh gruzopotokov po regional`nym transportnym sistemam Rossii i stran SNG // Transportnoe delo Rossii. №1. 2022. S 177-178.
12. Rogavichene L.I., Emets A.V. Vnedrenie bespilotnykh transportnykh sredstv v infrastrukturu Sankt-Peterburga: issledovanie problem // Zhurnal Mir transporta. 2022. №2. S. 52-59.
13. Zhgulev S.S. Obosnovanie effektivnosti avtomatizatsii transportnykh potokov agropromyshlennogo predpriyatiya // Innovatsionnye tekhnologii v APK: Teoriya i praktika. Materialy Vserossiyskoy (natsional`noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 60-letiyu Instituta ekonomiki. Kazan`. 2021. S. 61-64.
14. Baranov L.A., Safronov A.I., Sidorenko V.G. Planirovanie dvizheniya poezdov v intellektual`nykh transportnykh sistemakh // Nadezhnost`. 2022. T. 22. №3. S. 35-43.

Илья Владимирович Арифиллин

Moscow automobile and the road construction state technical university (MADI)

Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64

Candidate of Technical Sciences

E-mail: arifullin@madi.ru

А.В. ГРУНИЧЕВ, М.Ю. ЕЛАГИН, Э.А. ОГАНЯН, Р.Н. ХМЕЛЕВ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Аннотация. В работе рассматривается математическая модель электрической силовой установки автотранспортных средств, базирующаяся на методе графов связей. Математическая модель включает уравнения, описывающие функционирование тяговой аккумуляторной батареи, электрического двигателя и уравнение движения автомобиля. Математическая модель апробирована на примере экскурсионного электробуса типа «shuttle bus». Приведены результаты расчетов изменения напряжения на аккумуляторной батарее, силы тока, частоты вращения вала электродвигателя и полезной мощности электрической силовой установки.

Ключевые слова: математическая модель, электрическая силовая установка, автотранспортное средство, метод графов связей

Введение

В настоящее время электромобили с перезаряжаемыми химическими источниками энергии являются наиболее эффективным способом борьбы с выбросами вредных веществ от автотранспортных средств (АТС). В связи с этим создание перспективных и конкурентоспособных отечественных электромобилей с характеристиками, превышающими мировой уровень, является актуальной задачей. Для решения указанной задачи необходима разработка комплекса математических моделей, описывающих поведение электрической силовой установки в составе автотранспортных средств в стационарных и переходных режимах для прогнозирования их технико-экономических показателей.

Рассматриваемые имитационные математические модели могут быть положены в основу методики проектировочных расчетов и использоваться для установления закономерностей влияния конструктивных и эксплуатационных параметров электрических силовых установок, параметров шасси, дорожных условий и режима эксплуатации на тягово-скоростные показатели и технико-экономические показатели АТС. Также следует отметить, что рассматриваемые исследования могут быть направлены для решения задачи импортозамещения.

Материал и методы

Математическому моделированию автотранспортных средств с электрическим приводом посвящены труды отечественных и зарубежных ученых, среди них: С.Б. Аджиманбетов, Д.И. Гурьянов, А.В. Ионесян, Т.А. Козлова, О.Б. Мокин, Б.К. Оспанбеков, Н.И. Слипченко, В.И. Строганов, Ronald K. Jurgen, Mike Westbrook, Mehrdad Ehsani, Ali Emadi, Jimin Gao, Iqbal Husain, Granfranco Pistoia, D. Ragone и другие.

При построении математических моделей процессов функционирования электрической силовой установки АТС с перезаряжаемой системой хранения электрической энергии можно выделить следующие основные подходы [1]:

- непрерывно-детерминированный (рассматривается работа электрической силовой установки во времени при изменении нагрузки);
- дискретно-детерминированный (реализуется с помощью разделения времени на дискретные интервалы);
- дискретно-стохастический (предполагает использование теории вероятностей и математической статистики, позволяет учесть случайные отклонения эксплуатационных параметров) [2].

Кроме рассмотренных математических моделей для имитационного моделирования электрических силовых установок автотранспортных средств в настоящее время используются следующие программные комплексы: Matlab Simulink, Simcenter Amesim, SimInTech,

REPEAT [3].

Проведенный анализ существующих математических моделей и программных комплексов имитационного моделирования электрических силовых установок АТС позволяет сделать следующие выводы [1]:

1) для математического моделирования электрической силовой установки АТС целесообразно использовать непрерывно-детерминированный подход, так как он обеспечивает наиболее полное математическое описание функционирования тягового электропривода во времени с учетом изменяющихся условий эксплуатации;

2) рассмотренные выше типы математических моделей в основном используются на стадии проектирования для достижения необходимых, в соответствии с техническим заданием, эксплуатационных свойств, а именно: мощности тягового электродвигателя, скорости движения АТС, запаса хода;

3) для имитационного моделирования тягового электропривода АТС целесообразно разрабатывать отечественное программное обеспечение, которое позволяет проводить вычислительные эксперименты, осуществлять анализ данных и исследовать функционирование электрической силовой установки в составе АТС в стационарных и переходных режимах для прогнозирования их технико-экономических показателей;

4) использование аппарата графов связей обеспечивает моделирование электрической силовой установки в составе АТС как системы, состоящей из элементов различной физической природы (механической, электрической, информационной), и тем самым реализует системный подход к разработке математического описания АТС.

Целью данной работы является разработка и апробация математической модели электрической силовой установки автотранспортных средств на примере экскурсионного электробуса типа «shuttle bus» [4, 5].

Рассматриваемое транспортное средство относится к классу самоходных машин [6] и используются для перевозки пассажиров и грузов по внутризаводским территориям и территориям рекреационных районов [7]. Данное АТС имеет традиционную компоновку, которая включает в себя сцепление, коробку передач (КПП), карданную передачу, редуктор с дифференциалом [8].

Для рассматриваемой электрической силовой установки был построен граф связей в общем виде, учитывающий влияние всех основных элементов привода на его функционирование (рис. 1). В качестве элементов графа использовались общепринятые обозначения, подробно описанные в работе [9].

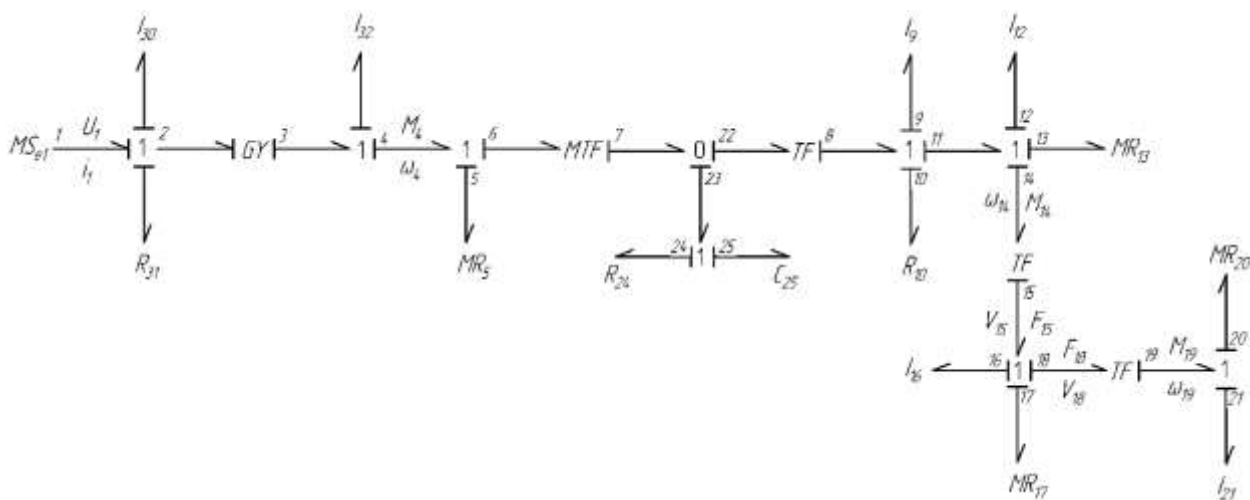


Рисунок 1 – Граф связей АТС с электрическим приводом в общем виде

С помощью графа связей в общем виде может быть получено описание всех возможных режимов функционирования АТС с электрической силовой установкой и их комбина-

ции, а именно: движение в режиме разгона, движение в режиме выбега (режим рекуперации), торможение и других. На рисунке 2 представлена модификация обобщенного графа связей для условий процесса торможения АТС с электрическим приводом [10].

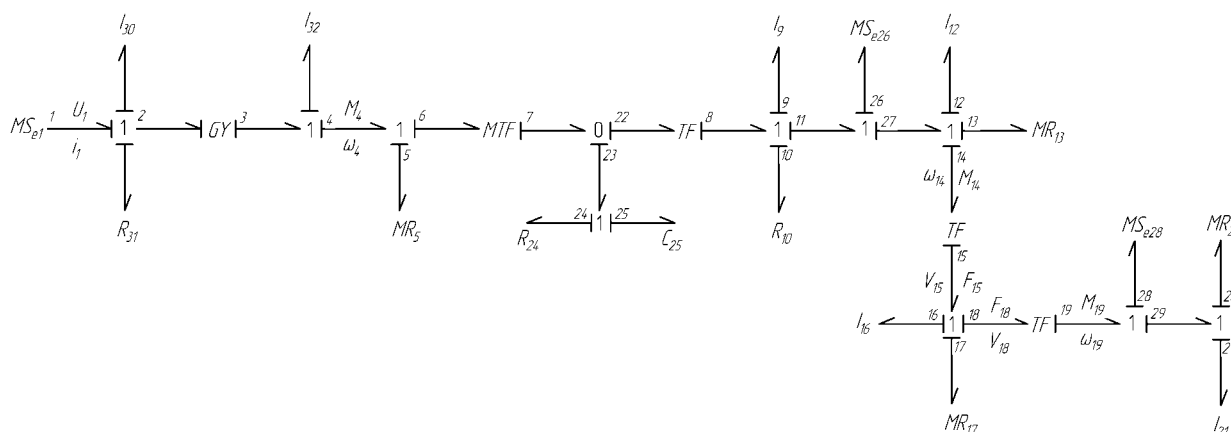


Рисунок 2 – Граф связей АТС с электрическим приводом для условий торможения

Описание основных элементов, входящих в состав графа связей приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Описание элементов графа связей

Элементы графа	Наименование элемента АТС
S_{e1}	аккумуляторная батарея
I_{30}, R_{31}	обмотка якоря электродвигателя
I_{32}	ротор электродвигателя
GY	электродвигатель
MR_5, MTF_7	диск сцепления
R_{24}, C_{25}	маховик
TF_8, I_9, R_{10}	коробка передач
$MS_{e26}, (MS_{e28})$	тормозные механизмы ведущих (ведомых) колес
$I_{12}, MR_{13}, TF_{15} (I_{21}, MR_{20}, TF_{19})$	ведущие (ведомые) колеса
I_{16}, MR_{17}	кузов АТС

Использование предлагаемого подхода позволяет исследовать динамические эффекты, связанные с функционированием электрической силовой установки АТС, в установившихся и переходных режимах, а также устанавливать закономерности влияния конструктивных и эксплуатационных параметров АТС, дорожных условий и режима эксплуатации на тягово-скоростные показатели и экономичность АТС.

Расчет

При разработке математической модели электрической силовой установки в составе АТС были приняты следующие основные допущения [11]:

- при описании аккумуляторной батареи не учитывался уровень естественной деградации емкости;
- момент сопротивления трансмиссии, принимался постоянным с учетом КПД;
- рассматривается движение АТС на горизонтальном участке;
- динамический радиус колеса остается неизменным.

Для аналитического описания разрядных характеристик тяговой аккумуляторной батареи (АКБ) используется метод Шеферда. Данный метод позволяет описать аналитическим уравнением зависимость $U = f(I, t)$ [2].

Описание работы тягового электродвигателя рассмотрим на примере двигателя постоянного тока, который является основой силовых установок самоходных машин. В основе математических моделей электродвигателей постоянного тока лежат три уравнения [12]:

- уравнение движения якоря двигателя:

$$J \left(\frac{d\omega}{dt} \right) = M_d - M_c, \quad (1)$$

где J – момент инерции якоря двигателя и жестко связанных с ним вращающихся деталей;

ω – угловая скорость якоря или вала электродвигателя;

M_d, M_c – соответственно движущий (электромагнитный) момент и момент сопротивления, приложенные к валу (якорю);

- уравнение, связывающее движущий момент с током якоря:

$$M_d = C \cdot \Phi \cdot i_a, \quad (2)$$

где C – постоянный коэффициент;

Φ – магнитный поток;

i_a – ток в обмотке якоря,

- уравнение, описывающее электромагнитные процессы в двигателе:

$$L_a \left(\frac{di_a}{dt} \right) = U - R_a \cdot i_a - C \cdot \Phi \cdot \omega, \quad (3)$$

где L_a, R_a – соответственно индуктивность и сопротивление якоря;

U – напряжение питания обмотки якоря.

Движение АТС в различных режимах описывается дифференциальным уравнением тягового баланса [13].

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = F_k - (F_{тр} + F_{п} + F_a + F_{и}), \quad (4)$$

где m – масса АТС; v – скорость АТС;

F_k – сила тяги на ведущих колесах;

$F_{тр}$ – сила трения качения колес;

$F_{п}$ – сила сопротивления подъему;

F_a – сила аэродинамического сопротивления;

$F_{и}$ – сила сопротивления разгону (сила инерции).

Зависимости для определения параметров входящих в уравнения (1)-(3), описывающие работу тягового электродвигателя приведены в работе [14], зависимости для определения параметров входящих в уравнение движения автомобиля (4) приведены в работе [15].

Перечень основных конструктивных параметров и принятых числовых значений, используемых для моделирования приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные конструктивные параметры

№ п/п	Конструктивные параметры	Условное обозначение	Числовое значение
1	Напряжение питания обмотки якоря, В	U	82
2	Емкость АКБ, А·ч	Q	160
3	Внутреннее сопротивление АКБ, Ом	R_0	0,03
4	Номинальная мощность электродвигателя, кВт	N_n	5
5	Номинальная частота вращения вала электродвигателя, об/мин	n_n	1500
6	КПД электродвигателя	η_d	0,85
7	Масса транспортного средства, кг	m	1000
8	Лобовая площадь автомобиля, м ²	S_f	2
9	Передаточное отношение главной пары	$u_{гп}$	5,125
10	Передаточное отношения КПП	u_1, u_2, u_3, u_4	3,4; 2,1; 1,4; 1
11	КПД механической трансмиссии	$\eta_{мт}$	0,9

В качестве аккумуляторной батареи рассматривался литий-ионный тип АКБ, который является наиболее распространённым для АТС данного класса [16].

Для математического моделирования силовой установки АТС была создана программа для ЭВМ, которая реализована средствами языка программирования PascalABC.NET.

Результаты и обсуждение

На рисунках 3 и 4 приведены результаты имитационного моделирования электрической силовой установки в составе АТС.

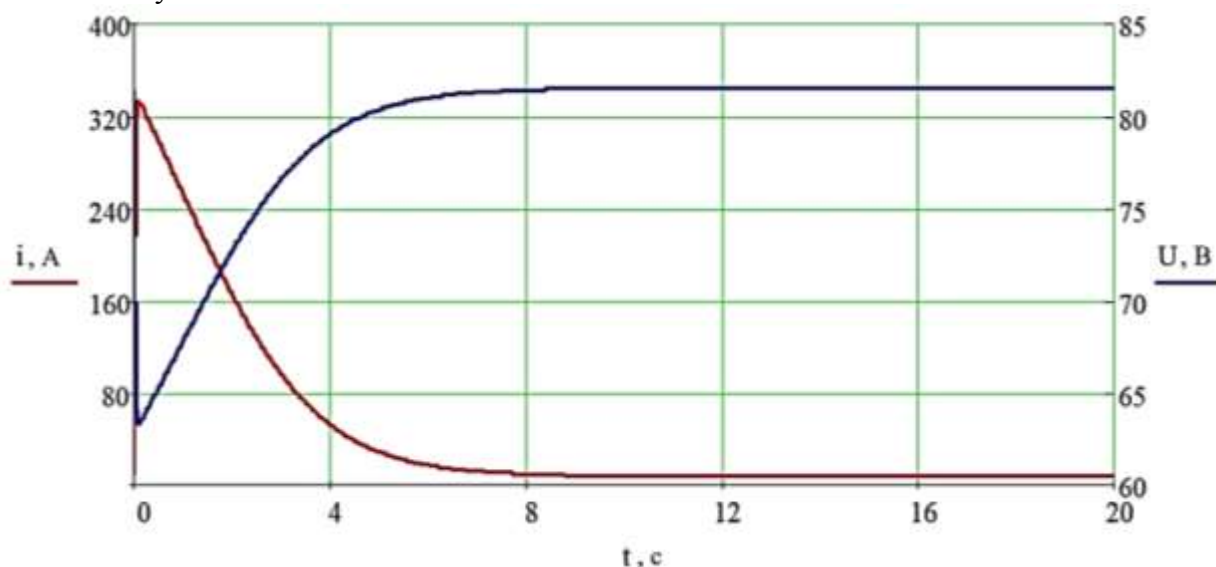


Рисунок 3 – График зависимости потребляемой силы тока i (А) от времени и падения напряжения на аккумуляторной батарее U (В) от времени

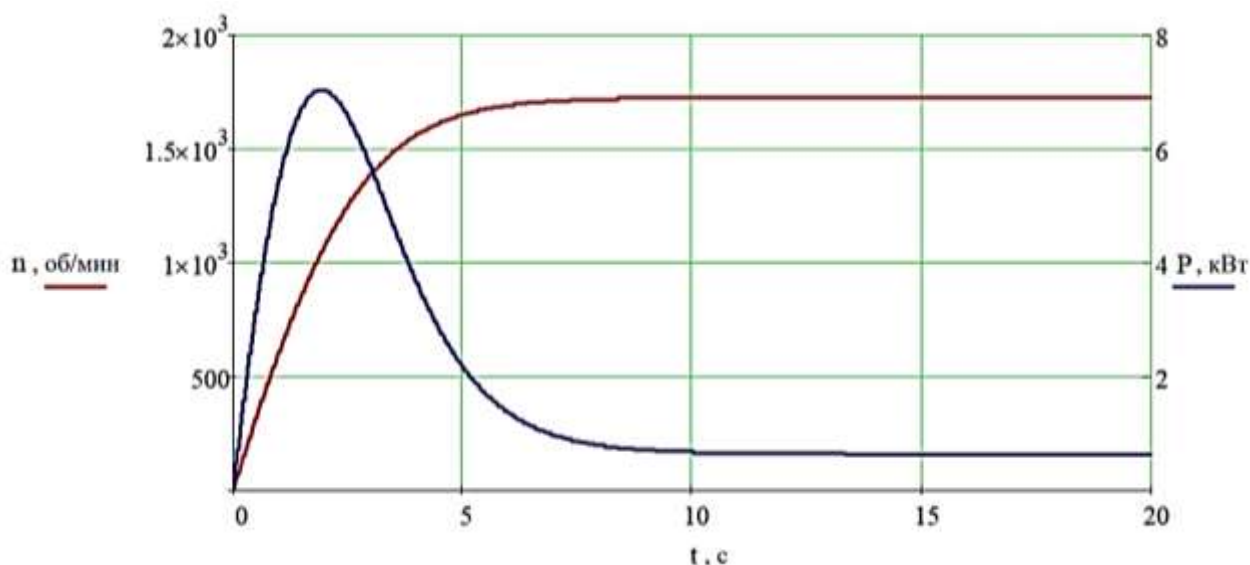


Рисунок 4 – График зависимости оборотов двигателя n (об/мин) от времени и полезной мощности P (кВт) от времени

Приведенные графики иллюстрируют процесс работы электрической силовой установки при трогании АТС с места на первой передаче и достижении им постоянной скорости движения. При этом полученные расчетные значения напряжения, силы тока и скорости движения соответствуют техническим показателям рассматриваемого транспортного средства с погрешностью, не превышающей 15 %.

Вывод

Предлагаемый подход, базирующийся на аппарате графов связей и разработанное программное обеспечение для анализа работы электрической силовой установки в составе АТС, дает возможность провести вычислительные эксперименты и установить закономерности влияния параметров шасси, дорожных условий и режима эксплуатации на тягово-скоростные показатели и экономичность электрической силовой установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганян Э.А. Анализ математических моделей электрических силовых установок автотранспортных средств // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2. 2024. С. 523-527.
2. Строганов В.И., Сидоров К.М. Математическое моделирование основных компонентов силовых установок электромобилей и автомобилей с КЭУ: Учеб. пособие. М.: МАДИ, 2015. 100 с.
3. Козлова Т.А. Методика поиска рациональных конструктивных параметров тягового привода электромобиля // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8. №5(36). С. 74.
4. Оганян Э.А., Рыбаков Г.П., Хмелев Р.Н. Методика проектирования экскурсионных электробусов, адаптированных для перевозки пассажиров с ОВЗ // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-5(82). С. 67-73.
5. Транспортное средство. Пат. 134373 / Агуреев И.Е., Антоненков М.А., Дорохина А.Е., Оганян Э.А., Рыбаков Г.П., Хмелев Р.Н. Заявка № 2022503245 от 28.07.2022.
6. ГОСТ Р 59102-2020. Электромобили и автомобильные транспортные средства с комбинированными энергоустановками. Термины и определения; введ. 09.10.20. М.: Стандартинформ, 2020. 12 с.
7. Оганян Э.А. Исследование тягово-скоростных показателей экскурсионных микроавтобусов с электрическим приводом // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 5. 2021. С. 230-234.
8. Электромобиль: устройство, принцип работы, инфраструктура / Э. Джутон, К. Рейн, В. Совант-Мойно и др.; пер. с франц. В.И. Петровичева. М.: ДМК Пресс, 2022. 440 с.
9. Применение теории графов связей в технике / под ред. Д. Кэрнопа и Р. Розенберга. М.: Мир, 1974. 95 с.
10. Груничев А.В., Малиованов М.В., Хмелев Р.Н. Разработка имитационной модели автомобиля // Прогресс транспортных средств и систем – 2013: Материалы МНПК. 2013. С. 46-47.
11. Горчаков Ю.Н., Пермьякова О.Г. Повышение эффективности силовых агрегатов транспортно-технологических машин: учеб. пособие для ВУЗов. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2019. 76 с.
12. Построение и анализ динамических моделей механизмов. Ч. 3. Модели приводов. Учебно-методическое пособие. Бишкек: Кыргызско-Российский Славянский университет. 2001. 50 с.
13. Ютт В.Е., Строганов В.И. Электромобили и автомобили с комбинированной энергоустановкой. Расчет скоростных характеристик: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 108 с.
14. Кувшинов А.А., Греков Э.Л. Теория электропривода. Часть 3: Переходные процессы в электроприводе: учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2017. 114 с.
15. Сафиуллин Р.Н., Башкардин А.Г. Автомобили. Эксплуатационные свойства: учеб. пособие. Ч. 2. СПб.: СПбГАСУ. 2010. 244 с.
16. Ганова А.С., Хмелев Р.Н. Сравнительный анализ характеристик тяговых аккумуляторов для современных электромобилей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. Вып. 10. С. 318-322.

Груничев Александр Владимирович

Тульский государственный университет

Адрес: 300012, Россия, г. Тула, пр. Ленина, д. 92

К.т.н., доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и процессы»

E-mail: avgrun@yandex.ru

Елагин Михаил Юрьевич

Тульский государственный университет

Адрес: 300012, Россия, г. Тула, пр. Ленина, д. 92

Д.т.н., профессор кафедры «Транспортно-технологические машины и процессы»

E-mail: aiah@yandex.ru

Оганян Эдуард Артурович

Тульский государственный университет

Адрес: 300012, Россия, г. Тула, пр. Ленина, д. 92

Аспирант

E-mail: edikoganian@gmail.com

Хмелев Роман Николаевич

Тульский государственный университет

Адрес: 300012, Россия, г. Тула, пр. Ленина, д. 92

Д.т.н., профессор кафедры «Транспортно-технологические машины и процессы»

E-mail: hmelev@yandex.ru

A.V. GRUNICHEV, M.Y. ELAGIN, E.A. OGANYAN, R.N. KHMELEV

MATHEMATICAL MODELING OF THE ELECTRIC POWER PLANT OF MOTOR VEHICLES

Abstract. The paper considers a mathematical model of an electric power plant of motor vehicles based on the method of connection graphs. The mathematical model includes equations describing the functioning of a traction battery, an electric motor and the equation of motion of a car. The mathematical model has been tested on the example of an excursion electric bus of the «shuttle bus» type. The results of calculations of changes in battery voltage, current strength, motor shaft speed and useful power of an electric power plant are presented.

Keywords: mathematical model, electric power plant, motor vehicle, method of connection graphs

BIBLIOGRAPHY

1. Oganyan E.A. Analiz matematicheskikh modeley elektricheskikh silovykh ustanovok avtotransportnykh sredstv // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. Vyp. 2. 2024. S. 523-527.
2. Stroganov V.I., Sidorov K.M. Matematicheskoe modelirovanie osnovnykh komponentov silovykh ustanovok elektromobiley i avtomobiley s KEU: Ucheb. posobie. M.: MADI, 2015. 100 s.
3. Kozlova T.A. Metodika poiska ratsional'nykh konstruktivnykh parametrov tyagovogo privoda elektromobilya // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2016. T. 8. №5(36). S. 74.
4. Oganyan E.A., Rybakov G.P., Hmelev R.N. Metodika proektirovaniya ekskursionnykh elektrobusov, adaptirovannykh dlya perevozki passazhirov s OVZ // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-5(82). S. 67-73.
5. Transportnoe sredstvo. Pat. 134373 / Agureev I.E., Antonenkov M.A., Dorokhina A.E., Oganyan E.A., Rybakov G.P., Hmelev R.N. Zayavka № 2022503245 ot 28.07.2022.
6. GOST R 59102-2020. Elektromobili i avtomobil'nye transportnye sredstva s kombinirovannymi energoustanovkami. Terminy i opredeleniya; vved. 09.10.20. M.: Standartinform, 2020. 12 s.
7. Oganyan E.A. Issledovanie tyagovo-skorostnykh pokazateley ekskursionnykh mikroavtobusov s elektricheskim privodom // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. Vyp. 5. 2021. S. 230-234.
8. Elektromobil': ustroystvo, printsip raboty, infrastruktura / E. Dzhuton, K. Reyn, V. Sovant-Moyno i dr.; per. s frants. V.I. Petrovicheva. M.: DMK Press, 2022. 440 s.
9. Primenenie teorii grafov svyazey v tekhnike / pod red. D. Kernopa i R. Rozenberga. M.: Mir, 1974. 95 s.
10. Grunichev A.V., Maliovanov M.V., Hmeliov R.N. Razrabotka imitatsionnoy modeli avtomobilya // Progress transportnykh sredstv i sistem - 2013: Materialy MNPK. 2013. S. 46-47.
11. Gorchakov YU.N., Permyakova O.G. Povyshenie effektivnosti silovykh agregatov transportno-tekhnologicheskikh mashin: ucheb. posobie dlya VUZov. Vladivostok: Dal'nevost. federal. un-t, 2019. 76 s.
12. Postroenie i analiz dinamicheskikh modeley mekhanizmov. CH. 3. Modeli privodov. Uchebno-metodicheskoe posobie. Bishkek: Kyrgyzsko-Rossiyskiy Slavyanskiy universitet. 2001. 50 s.
13. YUtt V.E., Stroganov V.I. Elektromobili i avtomobili s kombinirovannoy energoustanovkoy. Raschet skorostnykh kharakteristik: ucheb. posobie. M.: MADI, 2016. 108 s.
14. Kuvshinov A.A., Grekov E.L. Teoriya elektroprivoda. Chast' 3: Perekhodnye protsessy v elektroprivode: uchebnoe posobie. Orenburg: OGU, 2017. 114 s.
15. Safiullin R.N., Bashkardin A.G. Avtomobili. Ekspluatatsionnye svoystva: ucheb. posobie. CH. 2. SPb.: SPbGASU. 2010. 244 s.
16. Ganova A.S., Hmelev R.N. Sravnitel'nyy analiz kharakteristik tyagovykh akkumulyatorov dlya sovremennykh elektromobiley // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2020. Vyp. 10. S. 318-322.

Grunichev Alexander Vladimirovich

Tula State University
Address: 300012, Russia, Tula, Lenin Ave., 92
Candidate of Technical Sciences
E-mail: avgrun@yandex.ru

Elagin Mikhail Yurievich

Tula State University
Address: 300012, Russia, Tula, Lenin Ave., 92
Doctor of Technical Sciences
E-mail: aiah@yandex.ru

Oganyan Eduard Arturovich

Tula State University
Address: 300012, Russia, Tula, Lenin Ave., 92
Graduate student
E-mail: edikoganian@gmail.com

Khmelev Roman Nikolaevich

Tula State University
Address: 300012, Russia, Tula, Lenin Ave., 92
Doctor of Technical Sciences
E-mail: hmelev@yandex.ru

УДК 629.012

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-44-50

Н.М. ФИЛЬКИН, Н.В. ДАЛИДА, С.Н. ЗЫКОВ, М.А. ТАРАСОВА

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ (РАМЫ) КВАДРОЦИКЛА

Аннотация. Проведен сравнительный анализ наиболее распространенной конструкции несущей системы выпускаемых квадроциклов с новой конструкцией несущей системы разработанного квадроцикла. Сравнение конструкций проведено по множеству конструкторских параметров, включая прочностные расчеты. Описаны выявленные преимущества и недостатки анализируемых конструкций несущих систем квадроциклов.

Ключевые слова: квадроцикл, несущая система транспортной машины, метод конечных элементов, прочностные свойства

Введение

В настоящее время выпускаются квадроциклы для различных нужд, как для отдыха, туризма (путешествий), охоты, рыбалки, фермерства, домашних хозяйств и другие [1]. Разработчики квадроциклов решают сложные проблемы экономической эффективности производства такого типа транспортных средств (ТС), которые сводятся к решению следующих задач: детали в конструкции должны иметь наиболее простые структурные конфигурации и быть наиболее простыми для получения базовых заготовок [2]. В соответствии с проведенным анализом следует отметить, что при изготовлении рам квадроциклов в основном используются трубы из углеродистой качественной стали [3] толщиной стенки 2,5...3 мм и со средним диаметром труб примерно 27 мм.

Общий (типовой) вид данной рамы представлен на рисунках 1 и 2, где видно, что изделие не имеет в своей конструкции сложных технологических решений.

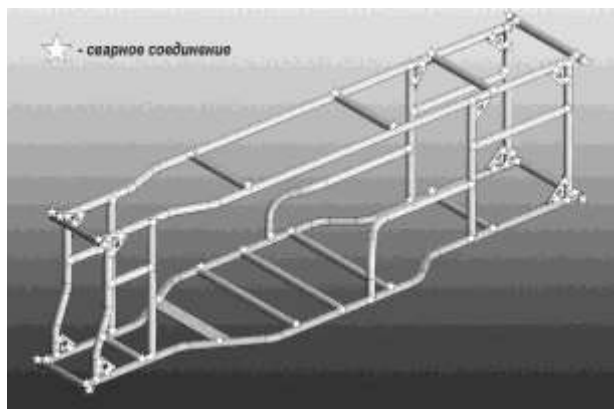


Рисунок 1 – Базовое количество сварных соединений рамы, характерное для выпускаемых квадроциклов (80 сварных точек)

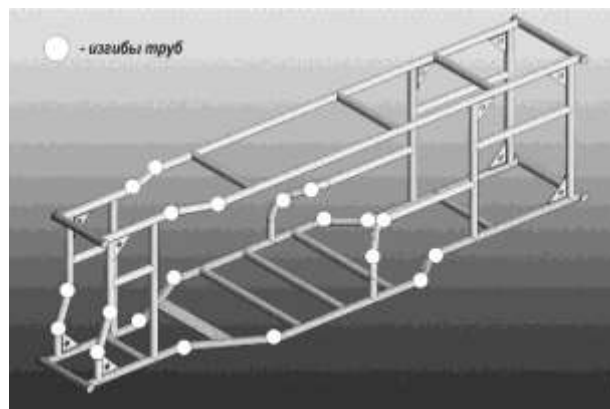


Рисунок 2 – Места изгибов труб рамы, характерные для выпускаемых квадроциклов (20 технологических изгибов)

Данная конструкция рамы используется для квадроциклов с рабочим объемом двигателя от 200 до 500 мм³ (рис. 2). Такие квадроциклы имеют сухой вес в диапазоне от 400 до 600 кг.

Важным достоинством данной рамы являются простые конфигурации деталей, но недостатком является то, что количество сварных соединений является очень большим и достигает для основных деталей до 80 мест (рис. 1). Также к сварным соединениям добавляются дополнительные части: кронштейны рычагов подвески, опоры и кронштейны амортизаторов.

© Н.М. ФИЛЬКИН, Н.В. ДАЛИДА, С.Н. ЗЫКОВ, М.А. ТАРАСОВА, 2025

ров, двигателя, багажных мест и пр. Данная конструкция рамы была выбрана в качестве аналога (прототипа) разрабатываемого квадроцикла.

Теория и расчет

В качестве эффективного инструмента для проведения численного эксперимента представляется наиболее целесообразным использовать так называемые PLM-системы (Product Life Management) [4], позволяющие проводить электронное моделирование и инженерные расчеты в рамках единой виртуальной среды пользовательского интерфейса [5], что полностью исключает процедуру трансфера геометрии и, связанных с ней, ошибок трансляции, нарушений топологии электронной модели.



а



б



в



г

Рисунок 3 – Квадроциклы с рабочим объемом двигателя 500 мм³:

а - Baltmotors ATV 500, б - CFORCE 500, в - Linhai-Yamaha 500 Long, г - Русская Механика RM-500

На сегодняшний день применение численного анализа (как с использованием расчетных модулей PLM-систем, так и специализированных программных комплексов инженерного анализа), в отношении сложных пространственных конструкций, к которым, в частности, относятся силовая рама и кузовные детали, является обычной практикой инженерной деятельности. При этом, несущую раму квадроцикла рассматривают, как набор связанных между собой трубчатых элементов [6, 7]. Результаты численных экспериментов над такими конструкциями нашли свое отражение в научных публикациях, где дается оценка изменения физического отклика конструкции на внешнее силовое воздействие при варьировании пространственной конфигурации отдельных частей силовой рамы, материала ее изготовления и других характеристик.

Для осуществления прочностного расчета рассмотренной рамы квадроцикла аналога требуется раму разбить на конечные элементные части (треугольные полигоны). Параметры

разбиения: размер полигонального треугольного элемента – 4 мм; допуск на разбиение сетки – 0,2 мм; всего узлов в сетке – 1128707 шт; всего элементов в сетке – 563954 шт.

Рама закреплена вдоль выступающих частей нижних продольных труб (рис. 4, 5). Прочностные расчеты показали, что максимальное смещение на верхнюю переднюю часть при статической нагрузке в 30 т в 3-х местах составляет более 1,4 м (рис. 4), а на верхнюю и нижнюю части спереди при статической нагрузке в 30 т в 2-х местах составляет более 1,1 м (рис. 5). Следует отметить то, что кронштейны усиления не формируют хорошую прочностную основу, а также происходит отрыв труб, что недопустимо при эксплуатации изделия на высоких нагрузках. Эти смещения не определяют хорошую надежность рамы при эксплуатации квадроцикла, что также влияет и на пассивную безопасность изделия. Производители удешевили раму за счет простых трубчатых деталей, что отразилось на прочности и жесткости конструкции. Однако следует отметить, что рама квадроцикла аналога условно простая, но ненадежная.

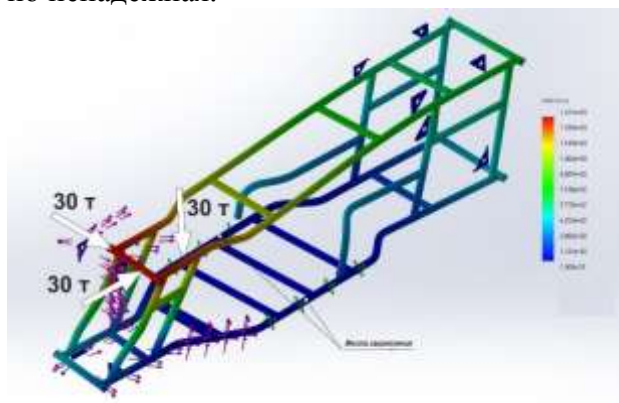


Рисунок 4 – Расчетный нагрузочный эксперимент рамы аналога квадроцикла на верхнюю часть спереди по 30 т в 3-х местах

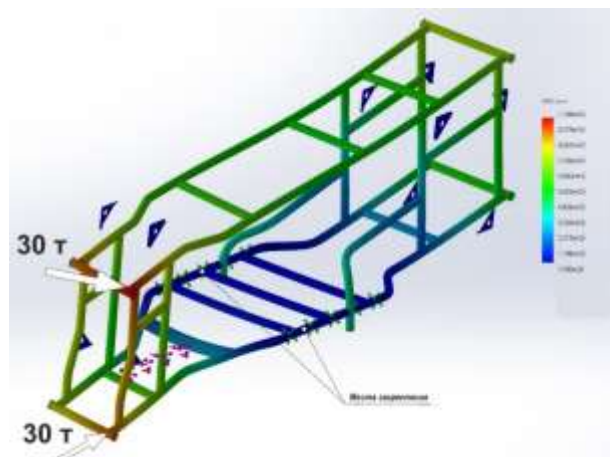


Рисунок 5 – Расчетный нагрузочный эксперимент рамы аналога квадроцикла на верхнюю и нижнюю части спереди по 30 т в 2-х местах

Максимальные пиковые напряжения в местах приложения нагрузки составили от $4,5 \times 10^{10}$ до $5,3 \times 10^{10}$ Н/м².

Рама мотоциклов, трициклов, багги (квадроциклов) и подобных ТС является главным несущим элементом конструкции. При описании особенностей прочностных характеристик силовых каркасов этих транспортных средств необходимо отметить ряд специфических моментов:

1) рама составляется, как правило, из трубчатых элементов различных форм и сечений, связанных между собой при помощи разного рода контактных соединений (сварка, болтовые соединения и т.п.) [8]. Изготовление такой конструкции имеет достаточно низкую себестоимость в силу того, что используется стандартный трубный прокат, который подвергается воздействию простейших технологических операций резки и гибки и т.п. [9];

2) рама указанных ТС многофункциональна по своему назначению, поскольку не только должна выдерживать статические и динамические эксплуатационные нагрузки. Она, являясь монтажной базой для всех элементов конструкции (двигатель, сиденье, подвеска и т.д.), также вносит значимый вклад в визуальную эстетику всей машины. Именно поэтому при всей кажущейся простоте силовых рам ТС, они имеют достаточно сложную геометрию, делающую прочностной инженерный расчет нетривиальной задачей;

3) рамы мотоциклов, трициклов, багги (квадроциклов), выпускающихся на одном предприятии, с экономической точки зрения целесообразно унифицировать таким образом, чтобы обеспечить наибольший процент одинаковых составляющих трубчатых элементов. При этом за базовую конструкцию, где используется наибольший процент однотипных элементов, имеет смысл определить силовую раму мотоцикла. А варианты рам трициклов и ба-

ги рассматривать как пространственное конструктивное развитие рамы мотоцикла, целью которого является создание предпосылок к монтажу дополнительных навесных элементов и агрегатов для соответствия тому или иному типу ТС [10];

4) типичные набор и компоновка размещения деталей, узлов и навесного оборудования указанных выше ТС определяет тот факт, что большинство силовых рам имеют достаточно сходные характеристики в рамках того или иного типа ТС, поэтому процесс проектирования в общем типичен для большинства моделей. При этом, необходимо отметить, что на современном этапе развития компьютерной техники его составной частью в обязательном порядке является численный инженерный анализ [11]: проведение серии численных исследований электронной геометрической модели силовой рамы имеет существенное преимущество перед натурными экспериментами, поскольку не только экономит материальные ресурсы, но и дает возможность быстрой сравнительной оценки различных конструктивных решений.

Силовая несущая рама разработанного квадроцикла, представленная на рис. 6, защищенная Патентом на изобретение № 2788214 «Рама квадроцикла трубчатая». Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 17 января 2023 г. Срок действия исключительного права на изобретение истекает 07 ноября 2042 г. Автор и патентообладатель: Далида Н.В.

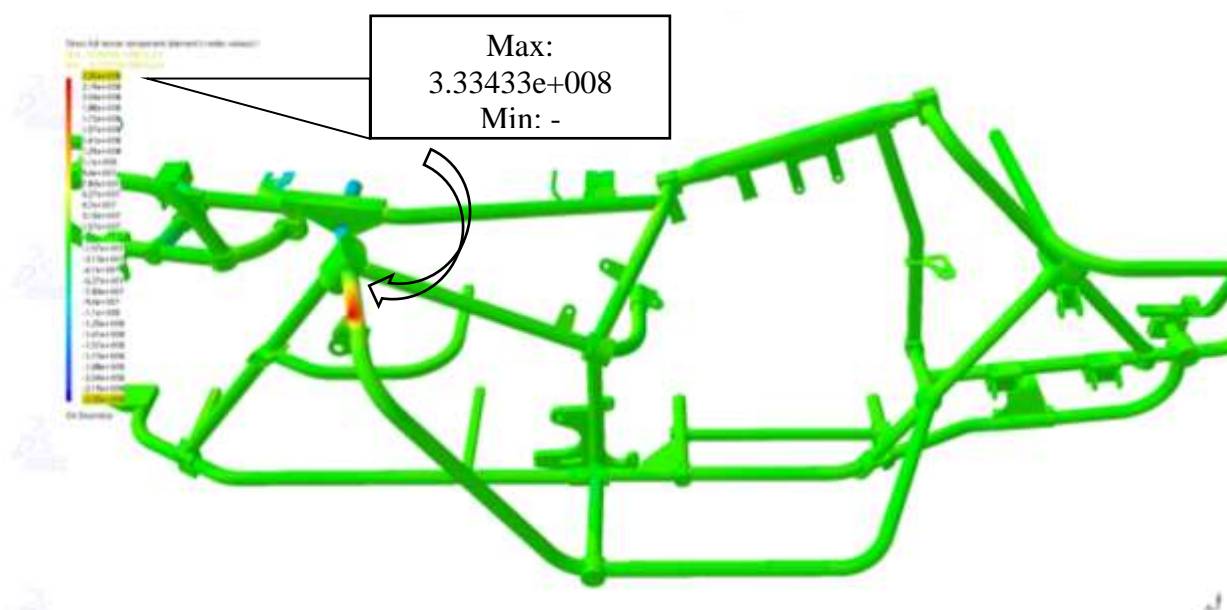


Рисунок 6 – Картина напряженно-деформируемого состояния трубчатого каркаса силовой рамы разработанного квадроцикла

При выполнении прочностных расчетов разработанной конструкции рамы и рассмотренной рамы квадроцикла аналога задавались следующие характеристики материала: модуль Юнга – 2×10^{11} Н/м²; коэффициент Пуассона – 0,266; плотность – 7860 кг/м³; предел прочности – 460 МПа.

Выводом по данным расчетам является то, что рама квадроцикла должна быть построена на базе одного профиля трубы круглого сечения, количество деталей в сборке не должно быть большим, а основная сварка должна быть определена в кондукторной оснастке по круговому замкнутому контуру в местах стыковки и примыкания каждой детали. Размер рамы после проведения опытно-конструкторских работ составил в длину 1600 мм, в ширину 760 мм, а в высоту 570 мм при максимальной массе 24 кг с учетом покрытия.

Результаты

Сравнительный анализ разработанной рамы квадроцикла и рамы квадроцикла аналога показал, что разработанная рама значительно лучше по рассмотренным в таблице 1 показателям, а также показателям прочностных свойств. При этом следует отметить то, что вес рамы аналога больше на 15 кг, метраж используемых труб больше на 4,7 м, количество свар-

ных мест больше на 28, количество трубчатых деталей больше на 8 шт, но количество гнутых мест в разработанной раме на 4 места.

Таблица 1 – Показатели и определители конструктивов рам квадроциклов

Показатель	Рама квадроцикла аналога RM-500 [12]	Разработанная рама
Количество деталей рамы без учета дополнительных кронштейнов	13 видов труб, 1 косынка, 1 диск торцевой, 1 планка (всего 30 трубчатых деталей)	20 видов труб (всего 22 трубчатые детали)
Количество сварных соединений	59	31
Масса основного конструктива рамы	32 кг	17 кг
Количество изгибов труб в конструкции рамы	20 мест	24 места
Общая длина труб в изделии	18,3 м	13,6 м

Обсуждение

Проектирование силовых рам квадроциклов при существующем уровне развития вычислительной техники и прикладных расчетных программных комплексов инженерного анализа дает достаточно хорошие результаты [13]. И если в разрезе количественной оценки прочностных исследований имеет место справедливое суждение о достаточно высокой погрешности вычисляемых характеристик по сравнению с натурными экспериментами (в силу приближенного характера расчетной электронной модели относительно реальных объемной геометрии и прочностных свойств изделия). То сравнительный анализ в отношении электронных геометрических моделей различных конструкций численными инженерными методами во многом лишен этого недостатка, поскольку сравниваются вычисляемые прочностные характеристики топологически однотипных континуумов – конечно-элементные модели. Это справедливо для различных программных средств прочностного анализа при ударных нагрузках, например, для ANSYS и LS-DYNA [14].

Сравнительный анализ результатов численных экспериментов типовой рамы квадроцикла и разработанной конструкции показал, что необходимо обратить внимание на пространственные локализации проблемных мест рассматриваемых трубчатых конструкций. В соответствии с представленными результатами расчета на рисунках 1, 2 можно сделать вывод, что типовая рама аналога, собранная в основном из набора параллельно размещенных труб, имеет недостаточную горизонтальную устойчивость и прочность (особенно в крайних точках). Разработанная рама с более развитым трубчатым каркасом по бокам по результатам расчетов имеет большую горизонтальную прочность. При этом наблюдается четкая локализация проблемного места конструкции, на которую необходимо обратить внимание (рис. 6). Где максимальное напряжение растяжения составляет 333,4 МПа (выделено на рисунке красным), что меньше предела прочности для взятого материала (460 МПа для углеродистой стали). Более развитая по бокам трубчатая конструкция рамы делает ее немного сложнее в изготовлении, но при этом наблюдается улучшение ее прочностных характеристик и увеличение возможностей варьирования компоновочными решениями навесных элементов.

Вывод

Положительным фактором рамы-аналога является то, что детали в основном все прямые, но отрицательным критерием является большое наличие сварных швов. Необходимо отметить то, что в конструкции рамы должны быть гнутые детали для снижения количества свариваемых мест с целью улучшения технологичности и уменьшения трудозатрат. Одна гнутая труба на 90° в конструкции рамы исключает два сварных шва. Такие трубы можно использовать в основном спереди, сзади и по бокам конструкции. Также гнутые детали являются защитными как для водителя и пассажира, так и для обеспечения прочности и жесткости конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.В., Алексеева Д.А. ATV. Квадроцикл. Ярославль: Хистори оф Пипл, 2008. 199 с.
2. Далида Н.В., Филькин Н.М., Скуба Д.В. Методические аспекты создания рам маломощных транспортных средств (квадроциклов) на основе трубчатых профилей // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. №1. С. 49-58.
3. Справочник по металлопрокату / Плюснин О., Петрова Г., Таланцева О., Плотников А., Чалов Д. М.: ЗАО «Сталепромышленная компания», 2012. 191 с.
4. Бадыхов Р.Р., Ломачев А.О., Проданов М.Е. Моделирование конструкций в среде PLM-систем: практикум. Самара: Самарский университет, 2021. 88 с.
5. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 433 с.
6. Ustimenko E.E., Skachkov S.V. Strain-Stress State Analysis of Bolted Connection of Thin-Walled Steel Profiles in Tension and Compression // Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. P. 672-675.
7. Božek P., Filkin N.M., Zukov S.N., Korshunov A.I., Zavialov P.M. A unified machine for technological electric transport load-bearing system // Acta Logistica – International Scientific Journal about Logistics. 2017. Vol. 4. P. 1-5.
8. Технология машиностроения: В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под ред. А.М. Дальского. 2-е изд., стереотип. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 564 с.
9. Технология машиностроения: В 2 т. Т. 2. Производство машин / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев и др.; Под ред. Г.Н. Мельникова. 2-е изд., стереотип. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 640 с.
10. Шленчик Т.А. Мотоциклы китайского, корейского, тайваньского и индийского производства классов 125, 150, 200 и 250 см³. Устройство, эксплуатация, техническое обслуживание. М.: ПКФ «Ранок», 2010. 88 с.
11. Filkin N.M., Zykov S.N., Shaikhov R.F. A Practice of Applied Numerical Analysis During Design of a Unified Utility Electric-Transport Vehicle // Proceedings – International Conference on Developments in eSystems Engineering, DeSE October-2019. С. 769-772.
12. Мотовездеход РМ 500. Руководство по эксплуатации. Рыбинск: АО «Русская механика», 2022. 34 с.
13. Далида Н.В., Зыков С.Н., Филькин Н.М. Методические аспекты применения численного прочностного анализа силового каркаса квадроцикла // Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». 2023. Т. 23. №2. С. 72-81.
14. Гончаров Р.Б., Зузов В.Н. Численное моделирование высокоскоростного удара по алюминиевой пластине в ANSYS и LS-DYNA. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. 26 с.

Филькин Николай Михайлович

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова

Адрес: 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование»

E-mail: fnm@istu.ru

Далида Николай Вацлавович

АО «Ижевский мотозавод «Аксион-холдинг»

Адрес: 426000, Россия, г. Ижевск, ул. М. Горького, 90

Аспирант, начальник цеха

E-mail: n.dalida@mail.ru

Зыков Сергей Николаевич

Удмуртский государственный университет

Адрес: 426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1

К.т.н., профессор, профессор кафедры Дизайна

E-mail: zikov.sergei@yandex.ru

Тарасова Мария Андреевна

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова

Адрес: 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7

К.т.н., директор Института образовательных технологий

E-mail: tarasovamariya99@yandex.ru

N.M. FILKIN, N.V. DALIDA, S.N. ZYKOV, M.A. TARASOVA

NEW DESIGN OF THE SUPPORTING SYSTEM (FRAME) ATV

Abstract. A comparative analysis of the most common design of the bearing system of manufactured ATVs with the new design of the bearing system of the developed ATV is carried out. The structures were compared according to a variety of design parameters, including strength calculations. The identified advantages and disadvantages of the analyzed designs of quad bike bearing systems are described.

Keywords: ATV, carrier system of a transport vehicle, finite element method, strength properties

BIBLIOGRAPHY

1. Alekseev A.V., Alekseeva D.A. ATV. Kvadrotsikl. YAroslavl': Histori of Pipl, 2008. 199 s.
2. Dalida N.V., Fil'kin N.M., Skuba D.V. Metodicheskie aspekty sozdaniya ram malomoshchnykh transportnykh sredstv (kvadrotsiklov) na osnove trubchatykh profiley // Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2023. №1. S. 49-58.
3. Spravochnik po metalloprokatu / Plyusnin O., Petrova G., Talantseva O., Plotnikov A., Chalov D. M.: ZAO «Stalepromyshlennaya kompaniya», 2012. 191 s.
4. Badykov R.R., Lomachev A.O., Prodanov M.E. Modelirovanie konstruktsey v srede PLM-sistem: praktikum. Samara: Samarskiy universitet, 2021. 88 s.
5. Norenkov I.P. Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya. M.: MGTU im. N.E. Baumana, 2016. 433 s.
6. Ustimenko E.E., Skachkov S.V. Strain-Stress State Analysis of Bolted Connection of Thin-Walled Steel Profiles in Tension and Compression // Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. P. 672-675.
7. Boek P., Filkin N.M., Zukov S.N., Korshunov A.I., Zavialov P.M. A unified machine for technological electric transport load-bearing system // Acta Logistica - International Scientific Journal about Logistics. 2017. Vol. 4. P. 1-5.
8. Tekhnologiya mashinostroeniya: V 2 t. T. 1. Osnovy tekhnologii mashinostroeniya / V.M. Burtsev, A.S. Vasil'ev, A.M. Dal'skiy i dr.; Pod red. A.M. Dal'skogo. 2-e izd., stereotip. M.: MGTU im. N.E. Baumana, 2001. 564 s.
9. Tekhnologiya mashinostroeniya: V 2 t. T. 2. Proizvodstvo mashin / V.M. Burtsev, A.S. Vasil'ev, O.M. Deev i dr.; Pod red. G.N. Mel'nikova. 2-e izd., stereotip. M.: MGTU im. N. E. Baumana, 2001. 640 s.
10. SHlenchik T.A. Mototsikly kitayskogo, koreyskogo, tayvan'skogo i indiyanskogo proizvodstva klassov 125, 150, 200 i 250 sm3. Ustroystvo, ekspluatatsiya, tekhnicheskoe obsluzhivanie. M.: PKF «Ranok», 2010. 88 s.
11. Filkin N.M., Zykov S.N., Shaikhov R.F. A Practice of Applied Numerical Analysis During Design of a Uni-fied Utility Electric-Transport Vehicle // Proceedings - International Conference on Developments in eSystems Engineering, DeSE October-2019. S. 769-772.
12. Motovezdekhod RM 500. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Rybinsk: AO «Russkaya mekhanika», 2022. 34 s.
13. Dalida N.V., Zykov S.N., Fil'kin N.M. Metodicheskie aspekty primeneniya chislenno prochnostnogo analiza silovogo karkasa kvadrotsikla // Vestnik YUzhno-ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Mashinostroenie». 2023. T. 23. №2. S. 72-81.
14. Goncharov R.B., Zuzov V.N. Chislennoe modelirovanie vysokoskorostnogo udara po alyuminievoy plastine v ANSYS i LS-DYNA. M.: MGTU im. N. E. Baumana, 2022. 26 s.

Filkin Nikolai Mikhailovich

Izhevsk State Technical University
Address: 426069, Russia, Izhevsk, Studentskaya str., 7
Doctor of Technical Sciences
E-mail: fnm@istu.ru

Dalida Nikolai Vasilavovich

Izhevsk Motor Plant Aksion-Holding JSC
Address: 426000, Russia, Izhevsk, M. Gorky str., 90
Postgraduate student
E-mail: n.dalida@mail.ru

Zykov Sergey Nikolaevich

Udmurt State University
Address: 426034, Russia, Izhevsk, Universitetskaya str., 1
Candidate of Technical Sciences
E-mail: zikov.sergei@yandex.ru

Tarasova Maria Andreevna

Izhevsk State Technical University
Address: 426069, Russia, Izhevsk, Studentskaya str., 7
Candidate of Technical Sciences
E-mail: tarasovamariya99@yandex.ru

Д.А. СОКОЛОВ, Д.О. РОГОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНОГО УЗЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Сегодня теория массового обслуживания находит применение в различных сферах человеческой деятельности, включая экономику, транспорт, информационные технологии, научные исследования и многое другое. При использовании аналитических подходов для изучения сложных систем массового обслуживания (СМО) мы получаем лишь ограниченный набор параметров и характеристик объектов исследования. Методы, основанные на имитационном моделировании, предоставляют обширные возможности для визуализации работы комплексных систем с любым уровнем детализации. Они также позволяют применять разнообразные вычислительные алгоритмы для обработки и анализа информации, что делает их мощным инструментом для оптимизации процессов обслуживания.

Ключевые слова: теория массового обслуживания, системы массового обслуживания, имитационное моделирование, программные системы моделирования, транспорт, транспортная инфраструктура

Введение

В данной статье рассматриваются методы имитационного моделирования, опирающиеся на теорию массового обслуживания и предназначенным для анализа дискретных объектов со стохастическим характером функционирования. В качестве примера приведена простая модели транспортно-пересадочного узла. Представив ТПУ как систему массового обслуживания, можно создать модель, которая позволит оценить эффективность работы узла, выявить проблемные зоны и разработать мероприятия для улучшения пропускной способности. В этой статье рассматриваются возможности использования программного обеспечения AnyLogic для создания имитационных моделей. Этот инструмент предоставляет библиотеку моделирования процессов, средства сбора статистики, компоненты для улучшения моделей и объектно-ориентированный подход как к структуре модели, так и к инструментам разработки. В качестве примера представлены результаты моделирования, полученные в результате базового эксперимента с использованием AnyLogic.

Материал и методы

Имитационное моделирование – это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с которой проводятся эксперименты с целью получить информацию об этой системе.

Основными задачами имитационного моделирования являются:

- создание имитационной модели – абстрактного представления реальной системы в виде набора правил или уравнений;
- проведение имитационных экспериментов на компьютере путем многократного «проигрывания» модели с разными исходными данными;
- анализ результатов имитационных экспериментов для получения новых знаний о модели и оригинальной системе.

Имитационное моделирование широко применяется в различных областях. Оно позволяет оценивать поведение сложных систем путем варьирования входных параметров и выявлять оптимальные решения без риска для реальной системы. К основным признакам таких систем относятся:

- дискретность – система функционирует путем перехода из одного состояния в другое через определенные события (заявки, сбои, восстановления и т.п.);
- стохастичность – моменты наступления событий носят случайный, вероятностный характер и могут быть описаны теоретическими или эмпирическими законами распределения вероятностей.
- параллельность – в одно и то же время может происходить несколько событий.

Существуют три основных способа создания имитационных моделей: системная динамика, дискретно-событийное моделирование и агентное моделирование [5]. Основные этапы имитационного моделирования: постановка задачи, концептуальное моделирование, компьютерная реализация, верификация, валидация, планирование и проведение экспериментов, анализ результатов.

Дискретно-событийное моделирование (Discrete Event Simulation, DES) – это один из основных подходов к имитационному моделированию, который используется для изучения систем, в которых происходят дискретные события во времени. DES моделирует динамику системы путем определения различных событий, которые могут происходить в системе, и их последствий. Основными компонентами DES являются события, система событий, состояния системы и временные интервалы между событиями. DES – эффективный инструмент для изучения различных процессов, таких как производственные линии, компьютерные сети и транспортные системы. Использование метода дискретных событий позволяет более точно представлять реальные системы и анализировать их в различных условиях и сценариях.

Принципами дискретно-событийного моделирования являются:

- модельное время вносит изменения от одного события к другому, тогда как системное состояние остается постоянным между событиями;
- события представляют собой мгновенные изменения в состоянии системы. Они могут происходить в результате хронологического хода событий (например, начало процесса обслуживания), возникновения определенного состояния (как, например, отказ оборудования) или прямых действий в системе (появление нового клиента);
- после каждого события определяются возможные последующие события, время их возникновения и последовательность (что существенно для прогрессирования модельного времени).;
- события влияют на изменение состояний системных компонентов - сущностей (индивидуумов, деталей, транспортных средств), ресурсов (машины, персонал), очередей, буферов и других элементов;
- случайные величины используются для симуляции стохастических (вероятностных) процессов, таких как интервалы между событиями, времена обслуживания и прочее.

Как отмечает в своем исследовании В.В. Юданова: «DES хорошо подходит для моделирования дискретных процессов, в которых явно выделяются события изменения состояния: производственные линии, системы обслуживания, телекоммуникационные и транспортные системы, логистические цепочки и т.д. События, такие как появление новой заявки или ее обработка, приводят к изменениям в состоянии системы, формируя поток событий. Этот поток характеризуется не только дискретностью, но и стохастичностью, поскольку времена появления заявок и их обработки являются случайными» [8]. Дискретно-событийный подход является естественным способом моделирования и анализа СМО различной сложности – от простейших одноканальных до сложных многофазных и сетевых систем. Популярные пакеты DES-моделирования – Arena, AnyLogic, FlexSim, Simio и др.

В контексте имитационного моделирования систем массового обслуживания они считаются дискретными. Системный анализ выполняется путем многократного запуска компьютерной модели с использованием случайных входных данных и сбора статистической информации. Объединяя концепции теории массового обслуживания и дискретно-событийного

подхода, как показано в таблице 1, можно исследовать сложные алгоритмы функционирования различных систем, включая элементы транспортной инфраструктуры.

Теория

При проектировании транспортных объектов критически важно удостовериться, что их из пропуская способность будет соответствовать ожидаемому пассажиропотоку. Необходимо проанализировать будущую работоспособность таких объектов, как пересадочные узлы, железнодорожные станции и аэропорты, чтобы выявить потенциальные проблемные места и оценить уровень сервиса в зонах ожидания. Важно также понимать, как будет происходить процесс эвакуации людей в экстренных ситуациях, определять места образования заторов и разрабатывать меры по их предотвращению [4].

Кроме того, очень важно понимать механизмы взаимодействия проектируемого объекта с существующей дорожной и транспортной инфраструктурой. Необходимо оценить, справится ли общественный транспорт с ожидаемым пассажиропотоком, как строительство ТПУ повлияет на загруженность улично-дорожной сети и образование пробок, а также как оптимально спроектировать парковочные зоны и рассчитать их вместимость. Все эти вопросы можно решить с помощью методов имитационного моделирования, которые позволяют детально просчитать различные характеристики объектов, включая пропускную способность, степень загруженности УДС, временные интервалы ожидания транспорта, продолжительность обслуживания в билетных кассах и многие другие параметры.

Таблица 1 – Основные элементы систем массового обслуживания и компоненты дискретно-событийной модели

Основные элементы СМО	Компоненты дискретно-событийной модели
<p>Поток заявок – последовательность требований на обслуживание, поступающих в систему. Заявки могут представлять собой клиентов, детали, документы и т.п. Поток заявок характеризуется интенсивностью (средним числом заявок в единицу времени) и законом распределения времени между поступлениями заявок.</p> <p>Очередь – место ожидания обслуживания для заявок, если все каналы обслуживания заняты. В простейших моделях СМО очередь бесконечна, в более сложных – может иметь ограниченную длину (емкость). Очередь характеризуется дисциплиной обслуживания (FIFO, LIFO, приоритетной и т.д.).</p> <p>Обслуживающий канал (прибор, устройство) – средство, выполняющее обслуживание заявок в соответствии с некоторым алгоритмом. Число каналов может быть одним или несколькими. Канал характеризуется производительностью (интенсивностью обслуживания) и законом распределения времени обслуживания заявок.</p>	<p>Событие – является конкретным инцидентом или изменением состояния системы в определенный момент времени, которое имеет определенные причины и последствия. Анализ событий позволяет выявить зависимости и взаимодействия между различными компонентами системы и предсказать их будущее развитие.</p> <p>Генератор псевдослучайных чисел – компонент, используемый для создания числовых последовательностей, не обладающих истинно случайными свойствами, но обладающих статистическими характеристиками случайности. Основываются на математических алгоритмах, которые позволяют получить последовательности чисел, которые кажутся случайными, но на самом деле являются детерминированными. Играет важную роль в различных областях, таких как моделирование систем, шифрование данных, статистические исследования и другие приложения, где требуется возможность создания разнообразных случайных значений.</p> <p>Сбор статистики – механизм накопления, позволяющий собирать и анализировать данные о происходящих событиях, их характеристиках и взаимосвязях, что позволяет более точно предсказывать и управлять поведением системы. В ходе сбора статистики могут использоваться различные методы, такие как сбор данных, анализ распределений событий, вычисление показателей производительности и т.д. Например, среднее время пребывания в очереди, средняя загрузка ресурсов, общее число обслуженных заявок и т.д. В итоге, анализ статистики позволяет выявить закономерности и оптимизировать процессы в моделируемой системе.</p>

Кроме того, важными компонентами СМО являются:

- диспетчер событий – управляет продвижением модельного времени от события к событию на основе календаря событий;
- часы модельного времени – отслеживают текущее модельное время симуляции;
- список ожидания/очередь – хранит заявки/транзакты в ожидании освобождения ресурсов;
- сущности – динамические объекты модели, перемещающиеся между ресурсами.
- Ресурсы – статические объекты модели, обслуживающие сущности.

Взаимодействие этих компонентов обеспечивает имитацию поведения моделируемой системы на компьютере.

В наше время создание и использование компьютерных моделей не ограничивается сферой деятельности IT-специалистов, инженеров или математиков. Инструменты визуализации стали доступны профессионалам самых разных направлений и квалификаций. Сегодня компьютерное моделирование является одним самых популярных методов в практике управления [6]. При этом главной компетенцией при создании компьютерных моделей становится не столько умение программировать, сколько понимание специфики предметной области, обладание системным мышлением и развитыми аналитическими способностями.

Имитационное моделирование становится неотъемлемой частью систем массового обслуживания по многим причинам. Как справедливо отмечает в своей работе Г.А. Черноок: «Сложность этих систем постоянно растет в связи с расширением их функционала, увеличением объемов данных и повышением скорости обработки. С другой стороны, причиной является совершенствование технических и программных средств, используемых в моделировании. Современные программные продукты включают в себя принципы объектно-визуального проектирования, автоматизированные инструменты для статистического анализа и обработки данных, а также продвинутые функции создания графического интерфейса моделей. Это делает информацию более доступной и наглядной, а также упрощает процесс модификации моделей» [7].

Дискретно-событийное моделирование и подход систем массового обслуживания можно эффективно использовать для имитации функционирования транспортного узла, такого как аэропорт, железнодорожный вокзал или морской порт. Вот основные шаги, которые можно предпринять:

- 1) определить объекты модели (сущности, ресурсы, очереди);
- 2) смоделировать потоки сущностей с помощью законов распределения (интервалы между прибытием транспорта как входящие потоки заявок, время обслуживания – посадка/высадка, досмотр, оформление документов и т.д.);
- 3) определить правила и логику транспортного узла (приоритеты и дисциплины очередей, правила распределения ресурсов, ограничения по вместимости терминалов, стоянок и т.д.);
- 4) собрать статистику показателей эффективности (время ожидания прибытия/отправления, загрузка каналов, максимальные/средние длины очередей, общая пропускная способность узла);
- 5) использовать генераторы случайных чисел для моделирования (интервалы между прибытием транспортных средств, время обслуживания, сбои и отказы);
- 6) провести многочисленные прогоны модели с разными входными данными;
- 7) проанализировать результаты и выявлять «узкие места», проблемные участки, оценить эффект от изменения правил, инфраструктуры и т.д.

Результаты и обсуждение

Такая имитационная модель позволит лучше понять динамику работы транспортного узла, оценить влияние изменений без риска для реальной системы, найти оптимальные решения. Современные пакеты моделирования, такие как AnyLogic, Arena и другие, предоставляют удобные инструменты для разработки подобных моделей.

На российском рынке программного обеспечения для имитационного моделирования, особое место занимает система AnyLogic. Данная ситуация обусловлена популярностью данной системы, которую ей удалось завоевать среди пользователей благодаря своей универсальности и поддержке различных методов моделирования, а также ориентации на объектно-ориентированное управление данными. AnyLogic также предлагает интеграцию с базами данных, инструменты для создания пользовательских интерфейсов и 2D- и 3D-анимации. Библиотеки в системе позволяют моделировать различные сценарии, а также предполагают использование GIS-технологий и интерактивных элементов. ПО поддерживает основные методы имитационного моделирования: системную динамику, агентное моделирование и территориально-событийное моделирование. Это обеспечивает различные стратегии работы и гарантирует точность результатов, позволяя сравнивать основные модели с высокой степенью сложности [3].

AnyLogic позволяет создавать координатно-событийные модели, используя библиотеку моделей процессов. Разработчики могут создавать диаграммы процессов, которые определяют, как агенты взаимодействуют в системе. Главный агент в каждой модели определяет объект, объединяет данные и функции для его обработки. Графический интерфейс редактора позволяет настраивать структуру и логику поведения каждого агента [8].

Для моделирования транспортно-логистических процессов AnyLogic предлагает обширную библиотеку с информацией о дорожной инфраструктуре, маршрутных сетях и других данных. Имитация функционирования транспортного узла включает в себя различные входные данные, такие как планы ТПУ, расписание транспорта, распределение пассажиропотоков и поведенческие модели пассажиров. Результаты имитационного моделирования позволяют получить информацию о прогнозировании пассажиропотока, анализе изменений в движении транспортных средств и оптимизации графика движения с учетом пропускной способности. Все это позволяет повысить качество обслуживания пассажиров, оптимизировать транспортные потоки и улучшить инфраструктуру ТПУ [2].

В качестве примера приведем простую имитационную модель системы транспортного обслуживания, созданную с использованием ПО AnyLogic. Модель формируется на основании нескольких логических слоев. Первый – основанная на существующей схеме или спутниковой фотографии двумерная схема, поверх которой производится разметка пространства, что позволяет привязать к такой разметке модель движения транспортных и пассажирских потоков (рис. 1).

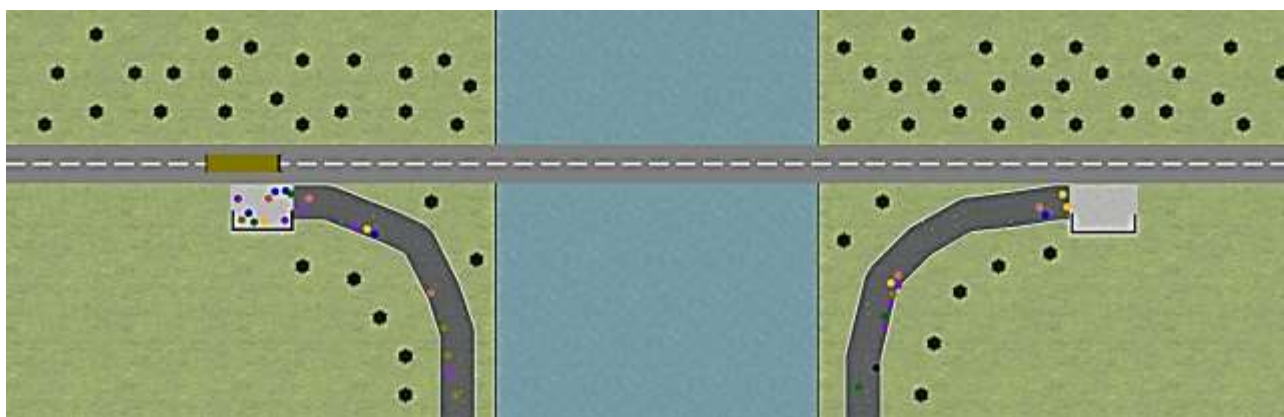


Рисунок 1 – Представление модели ТПУ в виде 2D-схемы с разметкой пространства

Второй слой – представление работы ТПУ в виде диаграммы процесса, на которой в логике дискретно-событийного моделирования выстраивается схема перемещения объектов и задаются ее основные параметры (рис. 2).

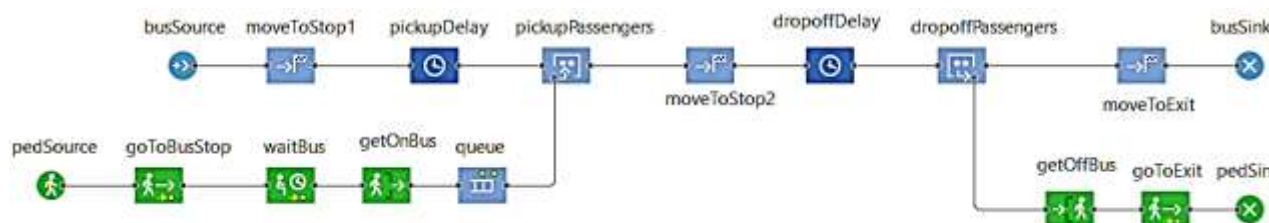


Рисунок 2 – Диаграмма процесса работы простого ТПУ

На данном примере представлена диаграмма работы простого ТПУ: поток пассажиров поступает на остановку, на которой ожидает прибытия автобуса. Автобус, прибывающий по расписанию либо согласно интенсивности с заранее заданной функцией распределения вероятности забирает фиксированное количество пассажиров и движется до другой остановки, где часть пассажиров высаживается и следует далее по заданной траектории. Таким образом формируется логика движения транспортных потоков.

Третий слой – визуальное представление модели в виде наглядной 3D-анимации (рис. 3), которая позволяет наглядно продемонстрировать результаты постановки имитационных экспериментов и, в случае необходимости, более эффективно выполнять отладку модели.

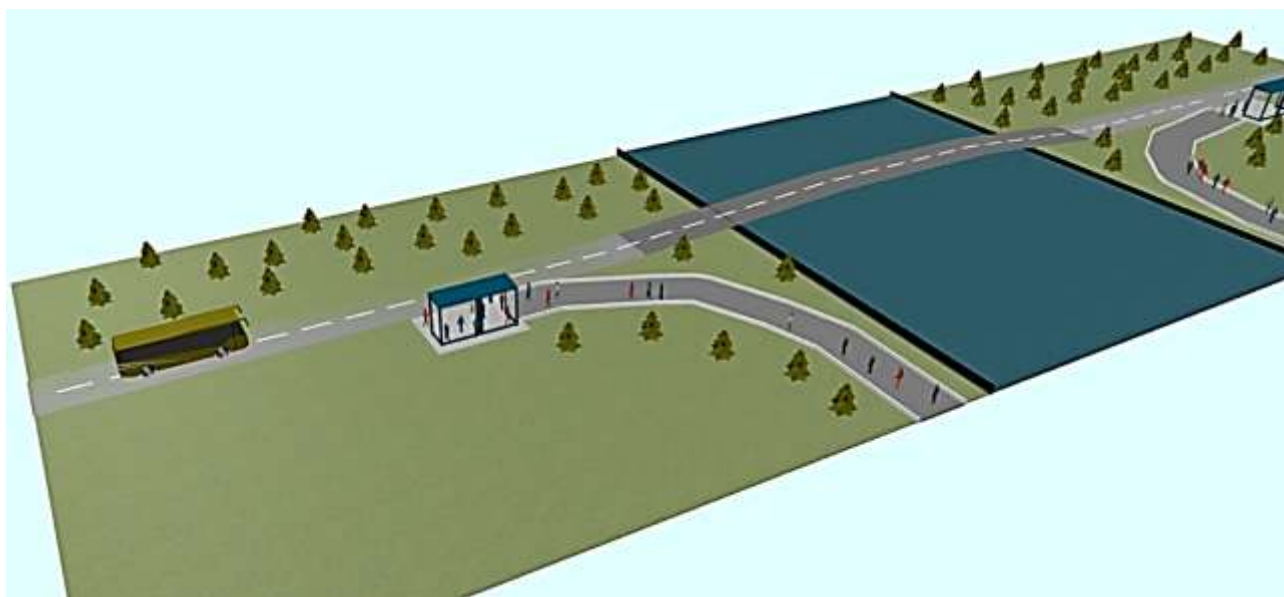


Рисунок 3 – 3D-визуализация модели

Выводы

Таким образом, анализ поведения систем массового обслуживания, к которым относятся и транспортно-пересадочные узлы, может эффективно проводиться с использованием методов имитационного моделирования. Это подразумевает необходимость тщательного подбора методики моделирования реальных объектов, принимая во внимание их дискретные и стохастические свойства. Для обеспечения требуемой адаптивности модели к реальным условиям используется приведение базовых элементов систем массового обслуживания к принципам дискретно-событийного моделирования.

В то же время, внедрение инструментария программных продуктов для имитационного моделирования, таких как, например, AnyLogic, имеет огромное значение для оптимизации процессов и принятия обоснованных решений в различных областях деятельности. Его использование привносит в теоретическую основу новые элементы – диаграммы, агенты, классы, объекты и др. В практическом же отношении внедрение инструментария программных продуктов для имитационного моделирования позволяет оперативно и эффективно проводить анализ различ-

ных стратегий и сценариев, а также предсказывать возможные последствия принимаемых решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адрианова А.В., Ласкин М.Б., Свистунова А.С. Имитационное моделирование участка маршрутной сети аэропортов «Пулково» и «Домодедово» в среде AnyLogic // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности: Труды конференции. Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет. 2019. С. 347-351.
2. Боловинцев М.Ю. Моделирование транспортно-пересадочных узлов, описание математической модели // Актуальные исследования. 2023. №7-1(137). С. 6-12.
3. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. 496 с.
4. Моделирование транспортных объектов: комплексный подход [Электронный ресурс] / AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса URL: <https://www.anylogic.ru/blog/modelirovanie-transportnykh-obektov-kompleksnyu-podkhod/>.
5. Нуриев Н.К., Печеный Е.А., Старыгина С.Д. Математическое моделирование системы массового обслуживания с каналами разной производительности // Современные наукоемкие технологии. 2021. №1.
6. Соколов Д.А. Генезис методологии системно-динамического моделирования и перспективы ее применения для решения задач цифровизации корпоративного управления изменениями // Вестник университета. 2023. №7. С. 71-80.
7. Черноок Г.А., Яковлева Н.Г. Пакеты имитационного моделирования систем массового обслуживания / Под редакцией А.П. Ремонтова // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании: Сборник статей XI Международной научно-практической конференции. Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний». 2021. С. 159-162.
8. Юданова В.В. Имитационное моделирование систем массового обслуживания // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2019 №4.
9. Савин Л.О., Королёв М.В. Организация ТО АТ в различных природно-климатических условиях ее эксплуатации // Современные автомобильные материалы и технологии: Сборник материалов X Международной научно-технической конференции. Курск. 2018. С. 215-217.
10. Колчин В.С. Основы диагностики и технической эксплуатации автомобилей: Учебное пособие. Иркутск: ИрГТУ, 2006. 156 с.
11. Тебекин М.Д., Катунин А.А., Новиков А.Н. Вибродиагностика, как способ определения технического состояния шаровых элементов подвески автомобилей // Автотранспортное предприятие. Москва. 2014. №11. Р. 149-158.
12. Антропов В.В. Организация проверки технического состояния рулевого управления и трансмиссии грузовых автомобилей // Молодежь и наука. 2020. №1. С. 2.
13. Логунов А.В., Конн В.Ю., Береснев А.Л. Виброакустическая диагностика автомобилей // Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Таганрог. 2020. С. 65-68.
14. Колпакова С.В., Новиков И.А. Методы диагностирования шаровых шарниров автомобиля в условиях сервисных предприятий // Современные материалы, техника и технология: Сборник научных статей 8-й международной научно-практической конференции. Закрытое акционерное общество «Университетская книга». Курск. 2018. С. 195-198.
15. Алексеев Е.А. Люфт-детекторы для диагностики подвески автомобилей // Молодежь и наука. Уральский государственный аграрный университет. Екатеринбург. 2018. №6. С. 56.

Соколов Дмитрий Александрович

Государственный университет управления

Адрес: 109542, Россия, Москва, Рязанский проспект, 99

К.э.н., доцент кафедры математических методов в экономике и управлении

E-mail: da_sokolov@guu.ru

Рогов Дмитрий Олегович

Государственный университет управления

Адрес: 109542, Россия, Москва, Рязанский проспект, 99

Аспирант

E-mail: do_rogov@guu.ru

D.A. SOKOLOV, D.O. ROGOV

OPTIMIZATION OF TRANSPORT HUB OPERATION USING SIMULATION MODELING METHODS

Abstract. Today queuing theory finds its application in many fields, including economics, transport, IT technologies, scientific researches, etc. Using analytical approaches to the study of complex queuing systems (QS) can obtain only a set of specific parameters and characteristics of research objects. Methods based on simulation modeling provide a wide range of opportunities for visualizing the operation of complex systems with different degrees of detail. They also allow the use of a variety of computational algorithms to process and analyze information, making them a powerful tool for service-level optimization.

Keywords: queuing theory, queuing systems, simulation modeling, modeling software systems, transport, transport infrastructure

BIBLIOGRAPHY

1. Adrianova A.V., Laskin M.B., Svistunova A.S. Imitatsionnoe modelirovanie uchastka marshrutnoy seti aeroportov «Pulkovo» i «Domodedovo» v srede AnyLogic // Devyataya vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya po imitatsionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti: Trudy konferentsii. Ekaterinburg: Ural'skiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet. 2019. S. 347-351.
2. Bolovintsev M.YU. Modelirovanie transportno-peresadochnykh uzlov, opisanie matematicheskoy modeli // Aktual'nye issledovaniya. 2023. №7-1(137). S. 6-12.
3. Katalevskiy D.YU. Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya i sistemnogo analiza v upravlenii: uchebnoe posobie; 2-e izd., pererab. i dop. M.: Izdatel'skiy dom «Delo» RANHiGS, 2015. 496 s.
4. Modelirovanie transportnykh ob"ektov: kompleksnyy podkhod [Elektronnyy resurs] / AnyLogic: imitatsionnoe modelirovanie dlya biznesa URL: <https://www.anylogic.ru/blog/modelirovanie-transportnykh-obektov-kompleksnyy-podkhod/>.
5. Nuriev N.K., Pechenyy E.A., Starygina S.D. Matematicheskoe modelirovanie sistemy massovogo obsluzhivaniya s kanalami raznoy proizvoditel'nosti // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2021. №1.
6. Sokolov D.A. Genezis metodologii sistemno-dinamicheskogo modelirovaniya i perspektivy ee primeneniya dlya resheniya zadach tsifrovizatsii korporativnogo upravleniya izmeneniyami // Vestnik universiteta. 2023. №7. S. 71-80.
7. Chernook G.A., YAKovleva N.G. Pakety imitatsionnogo modelirovaniya sistem massovogo obsluzhivaniya / Pod redaktsiyey A.P. Remontova // Informatsionnye resursy i sistemy v ekonomike, nauke i obrazovanii: Sbornik statey XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Penza: Avtonomnaya nekommercheskaya nauchno-obrazovatel'naya organizatsiya «Privolzhskiy Dom znaniy». 2021. S. 159-162.
8. YUdanova V.V. Imitatsionnoe modelirovanie sistem massovogo obsluzhivaniya // Internet-zhurnal «Otkhody i resursy». 2019 №4.
9. Savin L.O., Koroliov M.V. Organizatsiya TO AT v razlichnykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh ee ekspluatatsii // Sovremennye avtomobil'nye materialy i tekhnologii: Sbornik materialov X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Kursk. 2018. S. 215-217.
10. Kolchin V.S. Osnovy diagnostiki i tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley: Uchebnoe posobie. Irkutsk: IrGTU, 2006. 156 s.
11. Tebekin M.D., Katunin A.A., Novikov A.N. Vibrodiagnostika, kak sposob opredeleniya tekhnicheskogo sostoyaniya sharovykh elementov podveski avtomobiley // Avtotransportnoe predpriyatie. Moskva. 2014. №11. P. 149-158.
12. Antropov V.V. Organizatsiya proverki tekhnicheskogo sostoyaniya rulevogo upravleniya i transmissii gruzovykh avtomobiley // Molodezh' i nauka. 2020. №1. S. 2.
13. Logunov A.V., Konn V.YU., Beresnev A.L. Vibroakusticheskaya diagnostika avtomobiley // Sbornik trudov II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Taganrog. 2020. S. 65-68.
14. Kolpakova S.V., Novikov I.A. Metody diagnostirovaniya sharovykh sharnirov avtomobilya v usloviyakh servisnykh predpriyatiy // Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologiya: Sbornik nauchnykh statey 8-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo «Universitetskaya kniga». Kursk. 2018. S. 195-198.
15. Alekseev E.A. Lyuft-detektory dlya diagnostiki podveski avtomobiley // Molodezh' i nauka. Ural'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. Ekaterinburg. 2018. №6. S. 56.

Sokolov Dmitry Aleksandrovich

State University of Management

Address: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky prospect

Candidate of Economic Sciences

E-mail: da_sokolov@guu.ru

Rogov Dmitry Olegovich

State University of Management

Address: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky prospect

Postgraduate student

E-mail: do_rogov@guu.ru

УДК 656.05

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-59-66

С.В. ДОРОХИН, Н.А. ЗАГОРОДНИЙ, А.С. СЕМЫКИНА, Р.В. ГРИНЯКИН

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ВЕЛИЧИНЫ СЛУЖЕБНОГО ТОРМОЖЕНИЯ АТС

Аннотация. На реальном примере ДТП рассмотрены различные экспертные подходы к решению вопросов на соответствие действий водителей транспортных средств требованиям ПДД РФ. Предложено внесение изменений в методику автотехнической экспертизы при оценке технической возможности выполнения водителями требований п. 6.14 ПДД РФ, в зависимости от типа регулирования перекрестка и величины служебного торможения.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, автотехническая экспертиза; движения ТС на жёлтый сигнал светофора, служебное торможение, анализ требований ПДД РФ

Введение

При движении по дорогам общего пользования водители транспортных средств (ТС) сталкиваются с различными опасными дорожно-транспортные ситуации (ДТС), которые в определенный момент, при отсутствии активных действий со стороны водителей, перерастают в аварийные ситуации. Действия водителей регламентируются требованиями ПДД РФ, но нередко возникают сложные ДТП, когда для установления соответствия действий водителей требованиям ПДД РФ, необходимы специальные познания в области автотехнической экспертизы [1].

Материал и методы

Некоторые пункты ПДД РФ, при расследовании ДТП, неоднозначно трактуются не только водителями ТС и сотрудниками ДПС, но и судьями при рассмотрении дел по ДТП. Одним из таких пунктов является п. 6.14 ПДД РФ [5]: «6.14. Водителям, которые при включении желтого сигнала или поднятии регулировщиком руки вверх не могут остановиться, не прибегая к экстренному торможению в местах, определяемых пунктом 6.13 Правил, разрешается дальнейшее движение».

Для понимания проблематики и неоднозначности ДТП, связанных с установлением соответствия действий водителей требованиям п. 6.14 ПДД РФ, рассмотрим и проанализируем реальный пример ДТП [16].

Теория

Дорожно-транспортная ситуация, предшествовавшая рассматриваемому ДТП, была следующей:

- автомобили двигались в попутном направлении по ул. Преображенская на которой организовано одностороннее движение (рис. 1, показаны стрелками);
- приближаясь к регулируемому перекрестку с ул. Новая грузовой автомобиль МАЗ с полуприцепом (автопоезд) включил указатель левого поворота и приступил к маневру поворота налево со второй полосы;
- в момент пересечения стоп-линии автопоездом горел зеленый мигающий сигнал светофора;
- в момент, когда автопоезд выехал на середину первой полосы, произошло столкновение боковой левой части автопоезда с правой передней частью автомобиля «Mercedes Benz S450», при этом положение транспортных средств в первоначальный момент столкновения показано на рисунке 2.

В числе прочих, на разрешение автотехнической экспертизы по данному ДТП, был поставлен следующий ключевой вопрос: «Оправдано ли с технической точки зрения в данной дорожно-транспортной ситуации движение автомобиля «Mercedes Benz S450» через пе

рекресток на запрещающий жёлтый сигнал светофора исходя из требований ПДД РФ?».

По материалам данного ДТП [16] были проведены две автотехнические экспертизы с кардинально противоположными выводами по вышеуказанному вопросу.

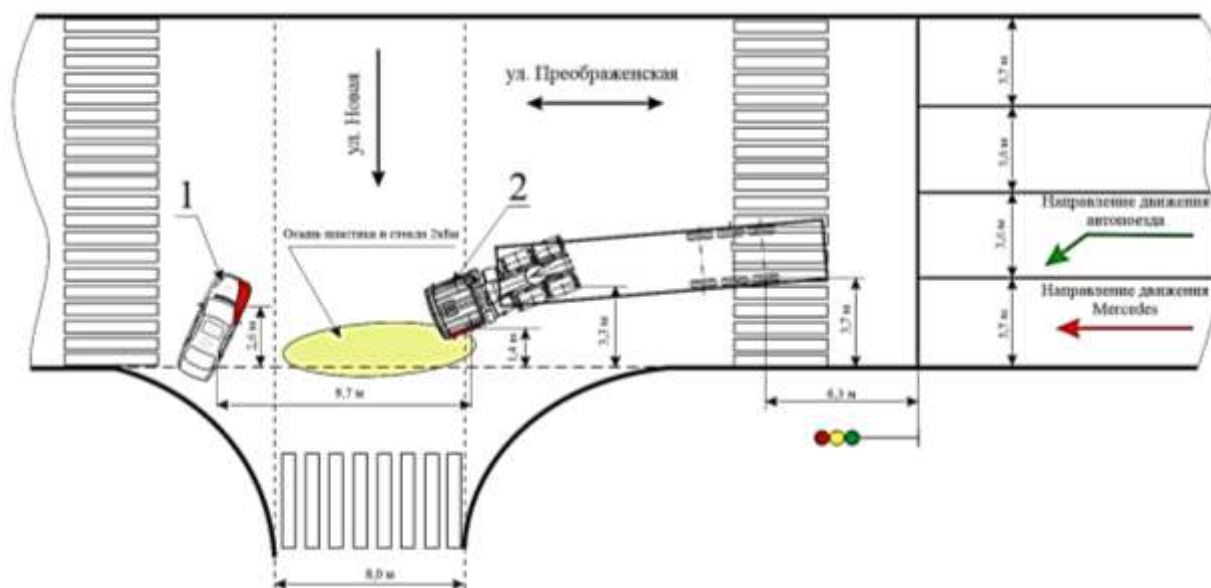


Рисунок 1 – Схема ДТП: 1 - Mercedes Benz S450; 2 – автопоезд в составе тягача МАЗ

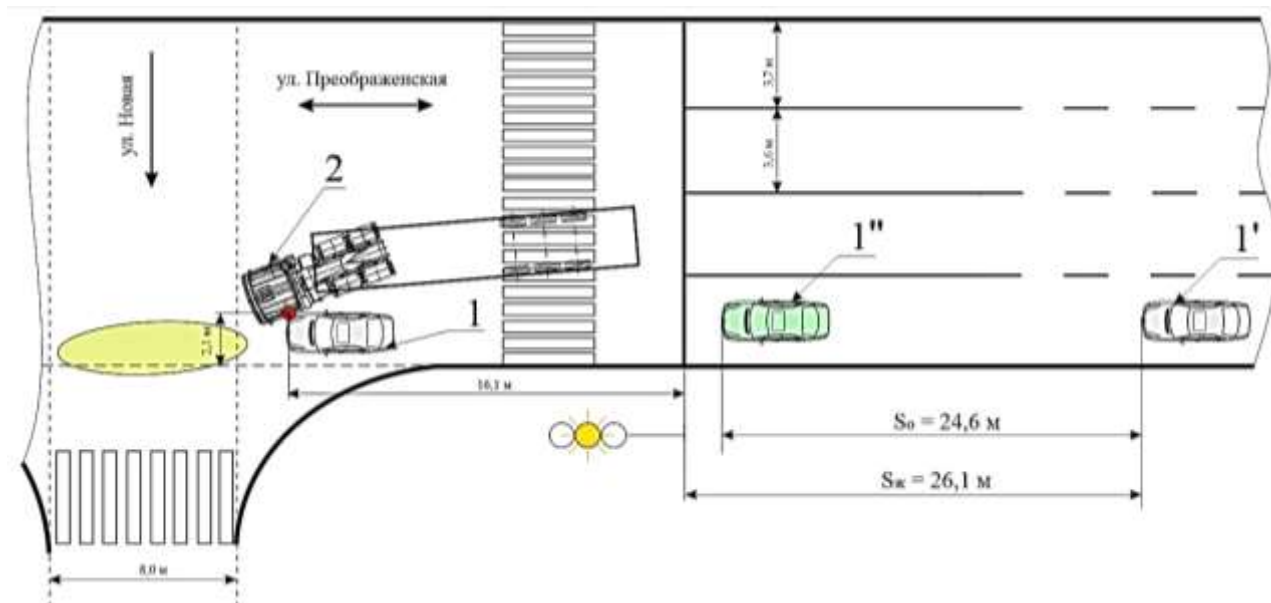


Рисунок 2 – Исследование ДТП: 1, 2 – положение транспортных средств «Mercedes Benz S450» и автопоезда в составе тягача МАЗ в момент столкновения; 1' – положение транспортного средства марки «Mercedes Benz S450» в момент замены зеленого сигнала светофора на желтый; 1'' – место остановки транспортного средства марки «Mercedes Benz S450» (полное служебное торможение из положения 1')

Результаты экспертизы №1: При сложившихся условиях, полученных из свидетельствующих документов, а именно по результатам видеофиксации и проведенных исследований, водителю транспортного средства марки «Mercedes Benz S450», движущегося в прямом направлении по регулируемому перекрестку необходимо было соблюдать правила и требования, представленные п.п. 1.3, 6.2, 6.13, 6.14 и 10.1 ПДД РФ.

Согласно проведенным исследованиям на участке регулируемого перекрестка водитель транспортного средства марки «Mercedes Benz S450» нарушил правила дорожного движения, а именно выехал на регулируемом перекрестке за стоп-линию в результате чего произошло столкновение автомобилей. Водитель «Mercedes Benz S450» осуществлял движение во время работы желтого сигнала светофора. Следует учесть, что у водителя транспортного средства марки «Mercedes Benz S450» была возможность избежать дорожно-транспортного происшествия в случае исключения экстренного торможения на регулируемом перекрестке согласно действующих правил. Значение экстренного торможения составило $j = 4,9 \text{ м/с}^2$. В случае полного служебного торможения величина составляла бы $j = 2,45 \text{ м/с}^2$, что в данных сложившихся условиях для водителя было невозможным.

Рассматривая сложившуюся ситуацию на регулируемом перекрестке установлено, что водителю транспортного средства марки «Mercedes Benz S450» в соответствии с п.6.14 ПДД РФ разрешено было пересечь стоп-линию и продолжить движение по перекрестку не нарушая правил дорожного движения.

Результаты экспертизы №2:

Согласно проведенным исследованиям, автопоезд в составе тягача МАЗ, пересек стоп-линию, проезжая по регулируемому перекрестку на разрешающий мигающий зеленый сигнал светофора. В это же время по регулируемому перекрестку передвигался водитель транспортного средства марки «Mercedes Benz S450» на желтый сигнал светофора. В результате движения 2х транспортных средств произошло их столкновение. По итогу проведенной экспертизы места совершения ДТП были установлены причины нарушения правил дорожного движения, а также выявлены варианты действия водителей, благодаря которым столкновение можно было избежать. Автомобиль «Mercedes Benz S450» в момент загорания желтого сигнала светофора находился в 26,1 м от стоп-линии. В данном случае водитель автопоезда в составе тягача МАЗ имел преимущество для движения.

Результаты

Анализ результатов исследования

Анализ видеозаписи с камеры наружного наблюдения и детальное изучения материалов дела и двух ранее проведенных экспертиз, позволяют выделить следующие ключевые моменты механизма ДТП:

- по направлению движения автомобиля «Mercedes Behz S450» установлен дорожный знак 3.24 «Ограничение максимальной скорости». Водитель транспортного средства «Mercedes Behz S450» должен был двигаться со скоростью 40 км/ч;
- установлена скорость движения транспортного средства «Mercedes Behz S450» перед въездом на регулируемый перекресток на основе метода видеотехнической экспертизы, которая составила 61,6 км/ч;
- в момент пересечения стоп-линии и изменения желтого сигнала светофора транспортное средство «Mercedes Behz S450» преодолело расстояние около $S_{ж} = 26,1$ метра (положение автомобиля «1» на рисунке 2);
- водитель транспортного средства марки «Mercedes Benz S450» в момент переключения на желтый сигнал светофора не применял торможения.

На основании вышеизложенного, водитель автомобиля «Mercedes Benz S450», для обеспечения безопасности движения в данной дорожно-транспортной ситуации, должен был действовать следующим образом [6, 12]:

- соблюдать скоростной режим, установленный дорожным знаком 3.24 «Ограничение максимальной скорости» - 40 км/ч, то есть действовать в соответствии с правилами и требованиями п. 10.1 ч.1 ПДД РФ;
- при переключении зелёного сигнала светофора на жёлтый в момент его моргания водитель должен был быть готовым к включению запрещающего желтого сигнала светофора и действовать исходя из правил и требований п.п. 6.2 ч.2 и 10.1 ч.2 ПДД РФ [5];
- при включении запрещающего желтого сигнала светофора водитель должен был пренебречь выездом на регулируемый перекресток с целью избежания возникновения нару-

шения правил дорожного движения и возможного ДТП и остановиться перед стоп-линией, кроме случаев, предусмотренных пунктом 6.14 Правил, то есть действовать в соответствии с требованиями п.п. 6.2 ч.3 и 6.13, ПДД РФ [5];

- в случае если применено экстренное торможение из-за невозможности остановки перед стоп-линией, то продолжить движение в прямолинейном направлении по регулируемому перекрёстку в соответствии с п. 6.14 ПДД РФ.

Методика автотехнических исследований позволяет проводить экспертизу ДТП и оценивать исходные данные положения транспортных средств до возникновения ДТП, а также проводить исследования характера повреждений автомобилей и давать им оценку. Данная методика применима для проведения экспертизы возникновения ДТП на регулируемом перекрестке между автомобилями «Mercedes Benz S450» и автопоезда в составе тягача МАЗ.

При вынесении объективного мнения о действиях водителя автомобиля «Mercedes Benz S450» на соответствие требованиям п. 6.14 ПДД РФ с целью обеспечения безопасности дорожного движения на данном регулируемом перекрестке необходимо учитывать [3]:

- если на перекрестке отсутствуют современные высокоавтоматизированные светофоры, препятствующие неожиданной смене сигнала светофора, а также при регулировании движения регулировщиком, движение водителя на желтый сигнал светофора в соответствии с правилами и требованиями п. 6.14 ПДД РФ может быть допустимо;

- необходимо также отметить, что п. 6.14 ПДД РФ практически не претерпел изменений с момента ввода в действия редакции ПДД РФ от 1 января 1987 г., при этом в то время использовались старые светофорные объекты, без мигающего зеленого сигнала, что делало непрогнозируемым для водителя смену сигнала светофора;

- в настоящее время, зеленый мигающий сигнал в сумме с последующим желтым сигналом удлиняет период предупреждения водителей (и пешеходов) о предстоящем включении красного сигнала. При зеленом мигающем сигнале водитель должен определить свои действия исходя из конкретных условий: скорости движения, состояния проезжей части, сцепления шин с дорогой, плотности транспортного потока [6];

- в рассматриваемой ситуации, в месте возникновения ДТП, на регулируемом перекрестке смена сигнала светофора была заранее прогнозируема. При движении по участку дороги водители обоих транспортных средств, как «Mercedes Benz S450», так и автопоезда в составе тягача МАЗ, должны были учитывать время переключения сигналов светофора и готовиться заранее к изменению фаз светофорных объектов для соблюдения требований п. 10.1. ч.1 ПДД РФ.

Установлено, что применение требований п. 6.14 ПДД РФ в отношении водителя транспортного средства «Mercedes Benz S450», разрешающего дальнейшее движение водителям, которые не могут при включении желтого сигнала светофора остановиться в месте, определяемом п. 6.13 ПДД РФ, не прибегая к экстренному торможению, является несостоятельным, поскольку до включения желтого (запрещающего) сигнала светофора зеленый сигнал сменяется на мигающий зеленый, который информирует водителей, что время его действия истекает и вскоре будет включен запрещающий сигнал. Поэтому, водитель автомобиля «Mercedes Benz S450», приближаясь к светофору с зеленым мигающим сигналом, должен был осознавать, что вскоре загорится запрещающий (желтый) сигнал светофора, следовательно, мог и должен был принять меры к остановке транспортного средства перед стоп-линией, не прибегая к экстренному торможению, однако он продолжил движение и проехал светофорный объект на запрещающий сигнал.

Если водитель видел зеленый мигающий сигнал светофора и умышленно не отреагировал на его смену путем снижения скорости, то следует признать, что его действия находятся в прямой причинной связи с ДТП [7].

Как было указано выше, применение требований п. 6.14 ПДД РФ в отношении водителя транспортного средства «Mercedes Benz S450» в данной дорожно-транспортной ситуации, является несостоятельным. Необходимо учитывать все факторы, повлекшие за собой

возникновение аварии. Анализ причин возникновения ДТП может предупредить в дальнейшем аварии и снизить их вероятность, а также последующие риски. Используемая методика для экспертизы ДТП позволяет установить была ли техническая возможность у водителя предотвратить возникновение ДТП. Методика учитывает расстояние, пройденный путь, скорость движения автомобилей, значения полного служебного торможения, значения экстренного торможения и другие параметры ($S_{ж} = 26,1$, $V=40$ км/ч в данном конкретном случае), с последующим техническим анализом возможности выполнения требований п.п. 6.13, 6.14 ПДД РФ.

Обсуждение

Существует несколько типов торможения автомобиля, к которым относят служебное, аварийное и экстренное.

Прочие виды торможения, не относящиеся к экстренному, можно отнести к так называемому рабочему служебному или полному служебному торможению.

Служебный режим торможения – это вид торможения, при котором тормозные силы на колесах автомобиля не достигают максимально возможного значения по сцеплению [8].

Аварийный режим торможения – это режим торможения автомобиля, который происходит в результате отказа рабочей (основной) тормозной системы или возникновения ее неисправностей.

Экстренное торможение – это режим торможения, при котором происходит полная остановка автомобиля при возникновении опасных ситуаций на дороге.

При эксплуатации автомобилей полное служебное торможение составляет 95...97 % общего числа торможений. Максимальное значение замедления при служебном торможении обычно не превышает 4 м/с^2 [4, 8], либо обычно составляет 40-45% от максимального замедления (экстренное торможение) [2]. При служебном торможении замедление обычно не превышает $1,5\text{-}2,5 \text{ м/с}^2$ [2, 8].

Полное служебное торможения автомобиля может осуществляться торможением двигателем, с помощью рабочей тормозной системы, с помощью рабочей тормозной системы без отключения двигателя, с помощью запасной тормозной системы или накатом.

Таким образом, рекомендации по выбору величины служебного торможения - общие, часто противоречат друг другу и не привязаны к конкретной дорожно-транспортной ситуации, дорожным условиям, либо методикам экспертного исследования, а служат лишь как оценочные, эксплуатационные параметры.

Необходимо также отметить, что в экспертной автотехнической практике отсутствуют какие-либо рекомендации и методические указания по выбору величины служебного (рабочего) торможения для использования в расчетах, в том числе и для определения технической возможности у водителя транспортного средства остановиться на заданном пути. Кроме того, величина замедления при плавном (служебном) торможении автомобиля является субъективной и зависит от многих, трудно поддающихся учету факторов: типа ТС, уровня личного комфорта конкретного водителя и манеры его езды, а также дорожно-транспортной ситуации и дорожных условий. Например, для одного водителя комфортным является торможение с замедлением, не превышающим $2,0 \text{ м/с}^2$, а для другого водителя комфортным является и $5,0 \text{ м/с}^2$, при этом и первое и второе торможения, по принятому в экспертной практике определению, являются служебными.

С технической точки зрения, при выборе исходных данных, эксперт в первую очередь должен руководствоваться достоверностью и неизменностью полученных в результате расчетов выводов. Так, если в качестве исходных данных имеется «вилка» значений, как в случае с величиной служебного (рабочего) торможения $1,5 - 4 \text{ м/с}^2$, то эксперт не в праве самостоятельно выбирать то или иное значение. В данном случае целесообразно провести исследование по критическим параметрам и сделать соответствующие выводы, хотя более чем очевидно, что в ситуации, когда необходимо предотвратить выезд на запрещающий сигнал светофора, водителю автомобиля необходимо применять более интенсивное торможение с величиной 4 м/с^2 и более. Пример данного рода исследований подробно описан в литературе [4]

на стр. 292, где и применяется «...так называемое служебное торможение с замедлением, ориентировочно равным 4 м/с^2 ».

Остановочный путь автомобиля «Mercedes Benz S450» при применении водителем служебного торможения, определяется по формуле [2]:

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot j_c} = 24,6 \text{ м.} \quad (1)$$

где t_1 – минимальное время реакции водителя, с: 0,6; [9]

t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода, с: 0,1 [10];

t_3 – время нарастания замедления, с: 0,25 [10];

j_3 – величина замедления при служебном торможении в данной дорожно-транспортной ситуации исходя из рекомендаций, используемых в экспертной практике, м/с^2 : 4,0 [4];

V_a – допустимая скорость движения автомобиля «Mercedes» в данной ДТС, км/ч: 40 [4].

Согласно выше сказанному, установлено, что водитель транспортного средства марки «Mercedes Benz S450» имел возможность остановиться до стоп-линии с учетом расстояния $S_{ж} = 26,1 \text{ м}$ при использовании полного служебного торможения $S_0 = 24,6 \text{ м}$, поэтому его действия противоречат требованиям п. 6.14 ПДД РФ и находятся в прямой причинной связи с имевшим место ДТП, так как $S_0 = 24,6 \text{ м} < S_{ж} = 26,1 \text{ м}$.

Кроме того, можно рассчитать минимальное замедление, которого было бы достаточно для остановки автомобиля «Mercedes Benz S450» на пути $S_{ж} = 26,1 \text{ м}$, по формуле [4]:

$$j_{min} = \frac{V_a^2}{26 \left(S_{ж} - \frac{V_a}{3,6} (t_1 + t_2 + 0,5 t_3) \right)} = 3,6 \text{ м/с}^2. \quad (2)$$

Таким образом, установлено, что у водителя транспортного средства марки «Mercedes Benz S450» была возможность остановиться перед стоп-линией, двигаясь перед въездом на регулируемый перекресток со скоростью 40 км/ч во время изменения зеленого сигнала светофора на желтый сигнал светофора, используя полное служебное торможение $j = 3,6 \text{ м/с}^2$, тем самым, выполнить требования п. 6.13 ПДД РФ.

Выводы

Методика экспертного исследования повышает производительность труда эксперта и во многом сокращает временные затраты, снижая сроки проведения экспертизы ДТП в целом. Особая важность в применении методики экспертного исследования это достоверность полученных данных, которые определяются как опытным путем, так и подтверждаются расчетами. Полученные исходные данные благодаря использованию методики экспертного исследования позволяет в точности воссоздать ситуацию до ДТП, а также реконструировать схему ДТП.

Предлагаемая ниже методика экспертного исследования по установлению соответствия действий водителей ТС требованиям п. 6.14 ПДД РФ, заключается в следующем:

1. При рассмотрении ДТП на перекрестках, оборудованных высокоавтоматизированными светофорными объектами с таймерами времени и (или) мигающим зеленым сигналом, необходимо учитывать, что смена сигналов светофора является для участников дорожного движения хронометрически прогнозируемой и предсказуемой, следовательно, действия водителя, при его движении на запрещающий (желтый) сигнал светофора, не могут быть оценены с позиции, предписанной требованиями п. 6.14 ПДД РФ.

2. Если перекресток оборудован старым светофорным объектом или регулируется регулировщиком, то устанавливается расстояние $S_{ж}$, на котором находилось ТС от места, определенного п.6.13 ПДД РФ, в момент изменения зеленого сигнала светофора на желтый сигнал светофора, или поднятии регулировщиком руки вверх (рис. 2).

3. Применяя методику автотехнических исследований, учитывается эффективная величина полного служебного торможения, которая составляет $j = 4 \text{ м/с}^2$ для определения остановочного пути автомобиля S_0 по формуле (1).

4. В случае если $S_0 \geq S_{ж}$, то у водителя транспортного средства имеются основания для продолжения движения через регулируемый перекресток на желтый сигнал светофора.

5. Если $S_0 < S_{ж}$, то действия водителя ТС противоречат требованиям п. 6.14 ПДД РФ и он не имел преимущества в движении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расследование ДТП // Под. ред. Федорова В.А., Гаврилова Б.Я. Изд. 2-е, перераб., доп. М.: Экзамен, 2003. 464 с.
2. Судебная автотехническая экспертиза. Ч.2 / Под ред. В.А. Иларионова. М.: ВНИИСЭ. 1980. 230 с.
3. Суворов Ю.Б., Косолапов А.С. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Экспертное исследование столкновений транспортных средств, следовавших в попутных направлениях. М.: МАДИ, 2003. 208 с.
4. Пучкин В.А. Основы экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий: База данных. Экспертная практика. Методы решения. Ростов н/Д: ИПО ПИ ЮФУ, 2010. 400 с.
5. Правила дорожного движения карманные (ред. с изм. на 1 марта 2023 года). М.: Эксимо, 2023. 128 с.
6. Суняев Л.В. Комментарий к Правилам дорожного движения. Основы расследования ДТП. М.: Гросс-Медиа, 2009. 360 с.
7. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М., 1989. 255 с.
8. Вахламов В.К. Автомобили. Эксплуатационные свойства. М.: Академия, 2012. 240 с.
9. Применение дифференцированных значений времени реакции водителя в экспертной практике: Методические рекомендации. Издание переработанное и дополненное. М.: ВНИИСЭ, 1987. 13 с.
10. Применение в судебной практике параметров торможения автотранспортных средств: методические рекомендации для экспертов. М.: РФЦСЭ, 1995. 22 с.
11. Пучкин В.А. Судебная автотехническая экспертиза: анализ дорожно-транспортных происшествий: Науч.-практ. пособие. Ростов н/Д: Профпресс, 2015. 360 с.
12. Комментарий к Правилам дорожного движения Российской Федерации и Основным положениям по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанностям должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения / М.Б. Афанасьев, В.Д. Кондратьев, А.Ю. Якимов и др.; под общ. ред В.А. Федорова. М.: За рулем, 2011. 304 с.
13. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза / под ред. проф. С.А. Евтюкова. СПб.: ДНК, 2008. 392 с.
14. Балакин В.Д. Исследование дорожно-транспортных происшествий с наездом на пешехода. Омск.: СибАДИ, 2005. 342 с.
15. Общие вопросы экспертизы дорожно-транспортных происшествий: Монография / А. В. Сараев [и др.]. Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2015. 101 с.
16. Архивные материалы МИП ООО «БелТЭД» при БГТУ им. В.Г.Шухова.
17. Семькина А.С., Загородний Н.А. Повышение безопасности дорожного движения за счет снижения тяжести последствий ДТП // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №3(62). С. 88-95.
18. Болотов Р.А., Загородний Н.А. Методы снижения тяжести последствий ДТП // Автомобильная промышленность. 2017. №11. С. 31-32.

Дорохин Сергей Владимирович

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова
Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8
Д.т.н., зав. кафедрой техники и технологий наземного транспорта
E-mail: dsvvrn@yandex.ru

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

Семькина Алла Сергеевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
К.т.н., старший преподаватель кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта
E-mail: Fantarock@mail.ru

Гринякин Руслан Валентинович

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова
Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8
Аспирант
E-mail: RV.Grinyakin@yandex.ru

FEATURES OF CHOOSING THE VALUE OF SERVICE BRAKING OF A VEHICLE

Abstract. Using the real example of an accident, various expert approaches to solving issues of compliance of the actions of drivers of vehicles with the requirements of the traffic regulations of the Russian Federation are considered. It is proposed to amend the methodology of automotive technical expertise in assessing the technical feasibility of drivers meeting the requirements of clause 6.14 of the traffic Regulations of the Russian Federation, depending on the type of intersection regulation and the amount of service braking.

Keywords: traffic accident, automotive technical expertise, vehicle movement at a yellow traffic light, service braking, analysis of traffic regulations of the Russian Federation

BIBLIOGRAPHY

1. Rassledovanie DTP // Pod. red. Fedorova V.A., Gavrilova B.YA. Izd. 2-e, pererab., dop. M.: Ekzamen, 2003. 464 s.
2. Sudebnaya avtotekhnicheskaya ekspertiza. CH.2 / Pod red. V.A. Ilarionova. M: VNIISE. 1980. 230 s.
3. Suvorov YU.B., Kosolapov A.S. Sudebnaya dorozhno-transportnaya ekspertiza. Ekspertnoe issledovanie stolknoveniy transportnykh sredstv, sledovavshikh v poputnykh napravleniyakh. M.: MADi. 2003. 208 s.
4. Puchkin V.A. Osnovy ekspertnogo analiza dorozhno-transportnykh proisshestviy: Baza dannykh. Ekspertnaya praktika. Metody resheniya. Rostov n/D: IPO PI YUFU, 2010. 400 s.
5. Pravila dorozhnogo dvizheniya karmannye (red. s izm. na 1 marta 2023 goda). M: Eksimo, 2023. 128 s.
6. Sunyaev L.V. Kommentariy k Pravilam dorozhnogo dvizheniya. Osnovy rassledovaniya DTP. M: Gross-Media, 2009. 360 s.
7. Ilarionov V.A. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy. M., 1989. 255 s.
8. Vakhlamov V.K. Avtomobili. Eksploatatsionnye svoystva. M.: Akademiya, 2012. 240 s.
9. Primenenie differentsirovannykh znacheniy vremeni reaktsii voditelya v ekspertnoy praktike: Metodicheskie rekomendatsii. Izdanie pererabotannoe i dopolnennoe. M.: VNIISE, 1987. 13 s.
10. Primenenie v sudebnoy praktike parametrov tormozheniya avtotransportnykh sredstv: metodicheskie rekomendatsii dlya ekspertov. M.: RFTSSE, 1995. 22 s.
11. Puchkin V.A. Sudebnaya avtotekhnicheskaya ekspertiza: analiz dorozhno-transportnykh proisshestviy: Nauch.-prakt. posobie. Rostov n/D: Profpress, 2015. 360 s.
12. Kommentariy k Pravilam dorozhnogo dvizheniya Rossiyskoy Federatsii i Osnovnym polozheniyam po dopusku transportnykh sredstv k eksploatatsii i obyazannostyam dolzhnostnykh lits po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya / M.B. Afanas`ev, V.D. Kondrat`ev, A.YU. Yakimov i dr.; pod obshch. red V.A. Fedorova. M.: Za rulem, 2011. 304 s.
13. Evtukov S.A., Vasil`ev YA.V. Dorozhno-transportnye proisshestviya: rassledovanie, rekonstruktsiya, ekspertiza / pod red. prof. S.A. Evtukova. SPb.: DNK, 2008. 392 s.
14. Balakin V.D. Issledovanie dorozhno-transportnykh proisshestviy s naездом на пешехода. Omsk.: Si-BADI, 2005. 342 s.
15. Obshchie voprosy ekspertizy dorozhno-transportnykh proisshestviy: Monografiya / A. V. Saraev [i dr.]. Belgorod: BGTU im. V. G. Shukhova, 2015. 101 s.
16. Arkhivnye materialy MIP ООО «BeITED» pri BGTU im. V.G.Shukhova.
17. Semykina A.S., Zagorodniy N.A. Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya za schet snizheniya tyazhesti posledstviy DTP // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №3(62). S. 88-95.
18. Bolotov R.A., Zagorodniy N.A. Metody snizheniya tyazhesti posledstviy DTP // Avtomobil`naya promyshlennost`. 2017. №11. S. 31-32.

Dorokhin Sergey Vladimirovich

Voronezh State Forestry Engineering University
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazeva str.
Doctor of Technical Sciences
E-mail: dsvvrn@yandex.ru

Zagorodniy Nikolay Alexandrovich

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str.
Candidate of Technical Sciences
E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Semykina Alla Sergeevna

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str.
Candidate of Technical Sciences
E-mail: Fantarock@mail.ru

Grinyakin Ruslan Valentinovich

Voronezh State Forestry Engineering University
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazeva str.
Postgraduate student
E-mail: RV.Grinyakin@yandex.ru

М.Ю. КАРЕЛИНА, М.Ю. МОНИНА

ОЦЕНКА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ АВАРИЙНОСТИ НА ОСНОВЕ НОРМИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье представлена реализация комплекса методов для оценки влияния количественно измеримых показателей и мероприятий, относящихся к сфере безопасности дорожного движения и характеризующих субъекты Российской Федерации, на число погибших и раненых в дорожно-транспортных происшествиях. Исходя из особенностей регионов России и результатов корреляционного анализа обосновано рассмотрение в качестве критерия числа погибших и раненых с учетом численности населения путем нормирования. Разработаны модели аварийности, полученные результаты качественно интерпретированы.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, математическая модель, дорожно-транспортная аварийность, статистический анализ

Введение

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) являются одной из основных причин смертности и травматизма в большинстве стран мира. Однако, несмотря на достижение значительных успехов в повышении безопасности дорожного движения в Российской Федерации, проблема по-прежнему стоит остро и является одной из основных, имеющих широкие социальные и экономические последствия. А главной задачей на перспективу является снижение числа погибших и раненых на дорогах.

Основой для принятия управленческих решений, определения мер и выбора результативных мероприятий в любой сфере, в том числе и для решаемой задачи, является обоснованный анализ достоверных данных, характеризующих ту или иную сферу.

Исследование дорожно-транспортной аварийности находится в сфере интересов аналитических подразделений федеральных органов исполнительной власти, научных организаций, образовательных учреждений, экспертов, блогеров.

Традиционно рассматриваются абсолютные показатели количества ДТП, числа погибших и раненых в них людей с возможной детализацией по участникам дорожного движения, их состоянию и половозрастному составу и так далее [1]. Важной характеристикой является изменение значений по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. Кроме того, изучаются относительные показатели: тяжесть последствия ДТП, социальный риск и транспортный риск [2].

Целью настоящей работы является построение региональных моделей, отражающих связь определяющих дорожно-транспортную аварийность показателей и факторы, относящиеся к системе «водитель–автомобиль–дорога–среда». При этом предлагается принять во внимание существенное различие регионов по численности населения и ранее выявленную авторами значительную корреляцию этой характеристики и некоторых внешних факторов.

Материал и методы

Моделирование основывается на общепринятых методах математической статистики [3], вероятностного анализа [4], последовательно реализованных в соответствии с подходом, описанным в работе [5]. В данном исследовании предлагается рассмотреть в качестве критерия нормированные с учетом населения значения числа лиц, погибших или раненых вследствие ДТП [6].

Принято допущение, что дорожно-транспортное происшествие является случайным событием, имеющим место в силу стечения некоторых обстоятельств на дороге при некотором наборе условий. Поэтому совокупность ДТП, распределенных по регионам России в течение нескольких лет рассматривается как последовательность случайных событий, что мо-

жет быть обоснованием применения методов математической статистики для анализа и установления связи критерия и показателей разной природы.

Исходными данными для расчетов послужили данные результатов научных исследований, нормативных документов, статистических отчетов, опубликованные, в том числе на сайте Росстата. В результате сформирован массив, количественно характеризующий безопасность дорожного движения и иные показатели по итогам пяти лет с 2016 по 2020 год в 85 субъектах Российской Федерации.

Таким образом, сформированы последовательности значений критерия и различных показателей: демографических, социальных, экономических, природных, климатических и иных.

Для данного исследования были отобраны:

- численность населения;
- количество и средний возраст парка транспортных средств, зарегистрированных на территории субъектов;
- плотность автодорог общего пользования;
- их доля, отвечающая нормативным требованиям;
- количество возбужденных дел об административных правонарушениях в области безопасности дорожного движения;
- природно-климатические показатели;
- оценка качества жизни;
- рейтинг регионов по доходам населения и другие.

Теория / Расчет

Последовательность действий [5] для построения моделей состоит из следующих этапов.

Определение степени взаимозависимости значений исследуемых характеристик, проводится с использованием рангового критерия корреляции Спирмена поскольку нет оснований считать закон распределения исследуемых величин нормальным.

Так как в сфере безопасности дорожного движения для моделирования используется значительное число показателей, в том числе взаимосвязанных. Например, социально-экономического или природно-климатического блока. Это затрудняет понимание физического смысла и интерпретацию полученных результатов. Как правило, при обработке статистических данных значительного объема, ставится задача выявления показателей, наиболее изменяемых при изменении объекта. И для снижения размерности решаемой задачи используется метод главных компонент.

Для выявления степени связей переменных (критерия и факторов), возникает необходимость решения задачи о нахождении их математической зависимости с применением регрессионного анализа.

В результате формируется регрессионное уравнение, соотносящее критерий и наиболее значимые показатели (факторы), которые входят в уравнение с различными знаками, коэффициентами и имеют различную значимость.

Она рассчитывается последовательно в два приема. Сначала определяется весовой коэффициент, определяющий важность влияния на объект (критерий) фактора по сравнению с другими. Но весовой характеристики недостаточно чтобы сделать уверенный вывод о влиянии факторов на изучаемое явление. В нашем случае на значение показателей дорожно-транспортной аварийности. Следующим приемом осуществляется доверительная оценка коэффициентов в регрессионном уравнении.

Поскольку по результатам корреляционного анализа определена значительная связь некоторых рассматриваемых показателей с численностью населения, то не представляется возможным в рамках принятого подхода установить их влияние на аварийность. Исходя из этого, и учитывая значительное различие регионов по численности населения, предлагается

нормировать число погибших и раненых в дорожно-транспортных происшествиях на этот показатель.

Далее рассчитаны коэффициенты корреляции нормированных на население числа погибших и значений выбранных факторов. В соответствии с полученными результатами оставлены для рассмотрения факторы x_2 и x_3 (плотность автомобильных дорог и доля автомобильных дорог, отвечающих нормативным требованиям), а также x_4 и x_5 (средний возраст парка транспортных средств и автобусов), природная (y_1 и y_2) и температурная (y_3 и y_4) составляющие в виде главных компонент. С учетом значений коэффициента корреляции исключены «экономические» факторы и добавлен показатель, характеризующий правоприменительную деятельность Госавтоинспекции (x_1).

Так, уравнение регрессии для отношения числа погибших к численности населения (y') представляется в виде:

$$y' = -(0,000000969 \pm 0,00000139) x_1 - (0,0000239 \pm 0,0000135) x_2 - (0,0002896 \pm 0,002141) x_3 + (0,002379 \pm 0,002436) x_4 + (0,001637 \pm 0,00194) x_5 + y'_1 + 0,147, \quad (1)$$

где x_1 – «возбуждено дел об административных правонарушениях в области безопасности дорожного движения, в тыс.»;

x_2 – плотность автомобильных дорог общего пользования;

x_3 – доля автомобильных дорог общего пользования, отвечающих нормативным требованиям;

x_4 – средний возраст парка транспортных средств;

x_5 – средний возраст парка автобусов;

$$y'_1 = (0,0003941 \pm 0,00033) z_1 + (0,000039 \pm 0,00013) z_2 - (0,000404 \pm 0,00032) z_3,$$

где z_1 – природные условия;

z_2 – среднее годовое количество осадков;

z_3 – продолжительность отопительного периода.

Главные компоненты, описывающие температурную составляющую, из рассмотрения исключены, так как величина случайного отклонения значительно выше величины коэффициента при переменной.

Корреляция статистических и модельных (рассчитанных по формуле (1)) значений составляет 0,4627, а ранговой корреляции Спирмена – 0,4132.

На рисунке 1 приведена графическая интерпретация смоделированных и фактических для 2020 года нормированных на население значений числа погибших в ДТП в субъектах России.

Модельное значение является средним предполагаемым количеством погибших в субъекте Российской Федерации в соответствии со значениями наиболее значимых показателей (факторов). Если фактическое значение меньше среднего, то ситуация в регионе благополучная, если же превышает, то есть основания для поиска возможных направлений и реализации соответствующих мероприятий в соответствии со значимостью факторов.

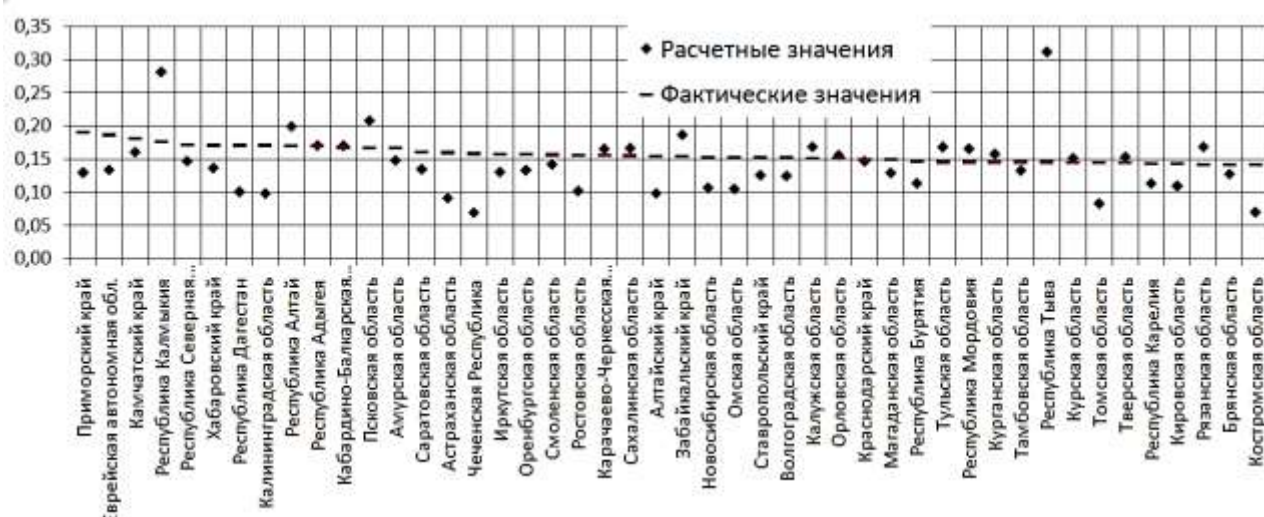


Рисунок 1 – Модельные и статистические (2020 год) нормированные на население значения количества погибших в регионах России

Рассмотрев в качестве критерия число лиц, раненых в дорожно-транспортных происшествиях, и нормированных на численность населения, выявлен иной набор факторов. Уравнение регрессии имеет вид:

$$y' = -(0,00000776 \pm 0,0000135) x_1 - (0,00023218 \pm 0,000131) x_2 - (0,005489 \pm 0,0208) x_3 + (0,00686 \pm 0,0236) x_4 - (0,007107 \pm 0,0188) x_5 + y'_1 + y'_2 + 2,514, \quad (2)$$

где $x_1 - x_5$ – соответствуют обозначениям в формуле (3);

$$y'_1 = -(0,00322 \pm 0,00327) z_1 - (0,00125 \pm 0,00126) z_2 + (0,00309 \pm 0,00313) z_3,$$

где z_1 – природные условия;

z_2 – среднее годовое количество осадков;

z_3 – продолжительность отопительного периода;

$$y'_2 = (0,001108 \pm 0,00000534) z_4 - (0,0059202 \pm 0,0000285) z_5 - (0,007485 \pm 0,000036) z_6 - (0,0059723 \pm 0,00000287) z_7 - (0,0064939 \pm 0,0000313) z_8,$$

где z_4 – средняя годовая температура воздуха;

z_5 – температура воздуха в холодный период года;

z_6 – температура воздуха в теплый период года;

z_7 – температура трех самых холодных месяцев;

z_8 – температура трех самых теплых месяцев.

Аналогичная модель в виде регрессионного уравнения разработана для второго показателя аварийности – числа раненых в ДТП, также нормированного на население. Коэффициент корреляции модельных и статистических (фактических) данных – 0,4041, а ранговой корреляции – 0,3753. Графическое представление полученных результатов дано на рисунке 2. Расчетные значения получены по формуле (2).

Для понимания значимости каждого фактора в регрессионных уравнениях рассчитан и приведен в таблице его вес, полученный как произведение коэффициента переменной в уравнении на сумму значений этой переменной (табл. 1).

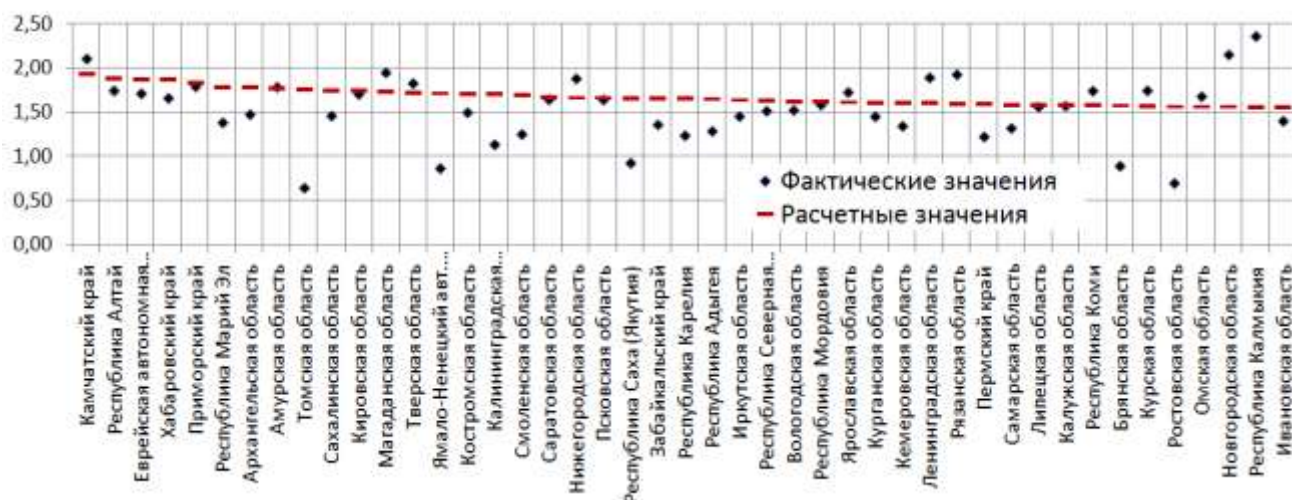


Рисунок 2 – Модельные и статистические (2020 год) нормированные на население значения количества раненых в регионах России

Таблица 1 – Вес факторов в моделях аварийности для нормированных критериев

Фактор	Погибшие	Раненые
Плотность автомобильных дорог общего пользования	-28,21	-27,39
Доля автомобильных дорог общего пользования, отвечающих нормативным требованиям	-5,33	-101,07
Средний возраст всего парка транспортных средств	15,04	43,37
Средний возраст парка автобусов	11,58	-50,28
Природные условия	-26,46	-156,48
Температура воздуха	6,23	-96,82
Административные воздействия	-0,63	-5,05

Результаты и обсуждение

По итогам моделирования получено, что с вероятностью 0,9 административная практика Госавтоинспекции эффективна для снижения числа погибших, хотя и в незначительной степени (вес фактора 0,63). Остальным факторам соответствует доверительная вероятность 0,975.

В модель со знаком «плюс» входят: значение среднего возраста транспорта, а также автобусов, показатели природных условий и количество осадков; с отрицательным знаком: плотность автомобильных дорог, доля автомобильных дорог, отвечающих нормативным требованиям, административные воздействия, продолжительность отопительного периода.

В свою очередь выявление нарушений правил дорожного движения и последующее возбуждение дел об административных правонарушениях в области безопасности дорожного движения с весом 5,05 и вероятностью 80 % результативно в направлении снижения количества раненых. Кроме того, снижению количества травмированных способствует высокая плотность автомобильных дорог и температурные составляющие, кроме средней годовой температуры воздуха.

Температурные показатели главной компоненты можно считать влияющими с некоторым допуском.

Выводы

По итогам проведенного исследования можно говорить о возможном применении сформированного комплекса методов математической статистики для анализа статистики дорожно-транспортной аварийности путем выявления закономерностей и взаимосвязи критериев и показателей, относящихся к безопасности дорожного движения. Разработанные модели аварийности (регрессионные уравнения) позволяют оценить весомость и вероятность влияния

выявленных факторов на число погибших и раненых в дорожно-транспортных происшествиях, а затем обосновать выбор мероприятий и управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2022 год. Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2023. 150 с.
2. Состояние и тенденции безопасности дорожного движения в Российской Федерации в 2011-2020 годах: Аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России». 2022. 368 с.
3. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
4. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы // М.: Финансы и статистика. 2011. 352 с.
5. Мони́на М.Ю. О формировании методики оценки дорожно-транспортной аварийности на основе вероятностного анализа // Вестник МАДИ. 2024. №1(76). С. 76-83.
6. Карелина М.Ю., Мони́на М.Ю., Мони́на О.Ю. Анализ взаимосвязи числа погибших в ДТП и показателей, связанных с причинами нанесения вреда жизни и здоровью людей // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2023. №2(73). С. 68-76.
7. Новиков А.Н., Кулев М.В., Кулев А.В. Разработка мероприятий по снижению дорожно-транспортной аварийности по вине водителей в состоянии алкогольного опьянения // Мир транспорта и технологических машин. 2016. №4(55). С. 97-104. EDN XDNBIV.
8. Орлов А.И. Вероятностно-статистические модели корреляции и регрессии // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. №160. С. 130-162. DOI 10.21515/1990-4665-160-011. EDN VBSKPK.
9. Орлов А.И. Оценивание размерности вероятностно-статистической модели // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. №162. С. 1-36. DOI 10.21515/1990-4665-162-002. EDN IAIDPC.
10. Пьянкова А.И., Фаттахов Т. А.Смертность от дорожно-транспортных происшествий в России: подходы к оценке, тенденции и перспективы // Демографическое обозрение. 2019. Т. 6. №3. С. 58-84. EDN TONMYF.
11. Россия в цифрах. 2020: Крат. стат. сб. Росстат. Москва, 2020. 550 с.
12. Статистические данные Госавтоинспекции [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gibdd.ru>.
13. Новиков А.Н., Кущенко Л.Е., Кущенко С.В., Новиков И.А. Анализ существующих методов оценки вероятности возникновения ДТП на участках улично-дорожной сети города // Вестник гражданских инженеров. 2021. №2(85). С. 222-231. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-222-231. EDN OZFVPK.
14. Борисов О.Ю. Дорожно-транспортный травматизм за период 1991-2022 гг. и перспективы развития автомобильного транспорта // Безопасность дорожного движения. 2022. №4. С. 10-15. EDN ZZOHWS.
15. Гусарова О.М. Аналитический аппарат моделирования корреляционно-регрессионных зависимостей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. №8-2. С. 219-222. EDN WGHMRF.

Карелина Мария Юрьевна

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр-т, 64

Д.т.н., Д.п.н., зав. кафедрой «Детали машин и теория механизмов»

E-mail: karelinamu@mail.ru

Мони́на Мария Юрьевна

ООО «Ростелеком Информационные Технологии»

Адрес: 119415, Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 41

Системный аналитик

E-mail: myumonina@gmail.com

M.Yu. KARELINA, M.Yu. MONINA

ROAD ACCIDENT ASSESSMENT BASED ON STANDARDIZED INDICATORS

Abstract. The article presents the implementation of a set of methods for assessing the impact of quantifiable indicators and measures related to road safety and characterizing the constituent entities of the Russian Federation on the number of deaths and injuries in road accidents. Based on the peculiarities of the regions of Russia and the results of correlation analysis, it is justified to consider the number of dead and wounded as a criterion, taking into account the population by rationing. Accident models have been developed, the results obtained have been qualitatively interpreted.

Keywords: road safety, mathematical model, road accident rate, statistical analysis

BIBLIOGRAPHY

1. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii za 2022 god. Informatsionno-analiticheskiy obzor. M.: FKU "NTS BDD MVD Rossii", 2023. 150 s.
2. Sostoyaniye i tendentsii bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii v 2011-2020 godakh: Analiticheskiy obzor. M.: FKU «NTS BDD MVD Rossii». 2022. 368 s.
3. Prikladnaya statistika. Klassifikatsiya i snizhenie razmernosti. M.: Finansy i statistika, 1989. 607 s.
4. Dubrov A.M., Mkhitaryan V.S., Troshin L.I. Mnogomernye statisticheskie metody // M.: Finansy i statistika. 2011. 352 s.
5. Monina M.YU. O formirovaniy metodiki otsenki dorozhno-transportnoy avariynosti na osnove veroyatnostnogo analiza // Vestnik MADI. 2024. №1(76). S. 76-83.
6. Karelina M.YU., Monina M.YU., Monina O.YU. Analiz vzaimosvyazi chisla pogibshikh v DTP i pokazateley, svyazannykh s prichinami naneseniya vreda zhizni i zdorov'yu lyudey // Vestnik Moskovskogo avtomobil'nogo dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2023. №2(73). S. 68-76.
7. Novikov A.N., Kulev M.V., Kulev A.V. Razrabotka meropriyatiy po snizheniyu dorozhno-transportnoy avariynosti po vine voditeley v sostoyanii alkogol'nogo op'yaneniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2016. №4(55). S. 97-104. EDN XDNBIV.
8. Orlov A.I. Veroyatnostno-statisticheskie modeli korrelyatsii i regressii // Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. №160. S. 130-162. DOI 10.21515/1990-4665-160-011. EDN VBSKPK.
9. Orlov A.I. Otsenivaniye razmernosti veroyatnostno-statisticheskoy modeli // Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. №162. S. 1-36. DOI 10.21515/1990-4665-162-002. EDN IAIDPC.
10. P'yankova A.I., Fattakhov T. A.Smertnost' ot dorozhno-transportnykh proisshestviy v Rossii: podkhody k otsenke, tendentsii i perspektivy // Demograficheskoe obozrenie. 2019. T. 6. №3. S. 58-84. EDN TONMYF.
11. Rossiya v tsifrakh. 2020: Krat. stat. sb. Rosstat. Moskva, 2020. 550 s.
12. Statisticheskie dannye Gosavtoinspeksii [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.gibdd.ru>.
13. Novikov A.N., Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Novikov I.A. Analiz sushchestvuyushchikh metodov otsenki veroyatnosti vozniknoveniya DTP na uchastkakh ulichno-dorozhnoy seti goroda // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2021. №2(85). S. 222-231. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-222-231. EDN OZFPVK.
14. Borisov O.YU. Dorozhno-transportnyy travmatizm za period 1991-2022 gg. i perspektivy razvitiya avtomobil'nogo transporta // Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya. 2022. №4. S. 10-15. EDN ZZOHWS.
15. Gusarova O.M. Analiticheskiy apparat modelirovaniya korrelyatsionno-regressionnykh zavisimostey // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2016. №8-2. S. 219-222. EDN WGHMRF.

Karelina Maria Yurievna

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradskiy, 64

Doctor of Technical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences

E-mail: karelinamu@mail.ru

Monina Maria Yurievna

LLC «Rostelecom Information Technologies»

Address: 119415, Russia, Moscow, Vernadsky Ave., 41

Systems analyst

E-mail: myumonina@gmail.com

УДК 656.078

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-74-80

К.А. БЫЧКОВА, А.В. ПОДКОПАЕВ, А.Г. ШЕВЦОВА, В.В. ВАСИЛЬЕВА

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ О ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЯХ

Аннотация. В статье представлена статистика дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и рассматриваются современные методы обработки информации. Целью данного исследования является аналитика исходных данных касаясь аварийности в Российской Федерации и применение различных систем обработки больших данных. Анализ исходных данных касательно аварийности строился на системе сбора общего числа ДТП из различных источников, таких как статистические отчёты (Госавтоинспекция (ГАИ) по показателям состояние безопасности дорожного движения (БДД), Росстат и ВОЗ), камеры фото- и видеофиксации, и сетевого анализа. Результаты научного исследования подчёркивают важность использования комплекса современных методов для улучшения показателей БДД.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, безопасность дорожного движения, система мониторинга, статистический анализ

Введение

Безопасность дорожного движения (БДД) – это система мер и правил, направленная на гарантирование безопасности всех участников дорожного движения, таких как водителей, пассажиров транспортного средства, пешеходов, т.е. максимальное снижение количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП). В соответствии с определением ДТП к нему относятся события, которые возникли в процессе движения по дороге транспортного средства и с его участием, при котором погибли или пострадали люди или повреждены транспортные средства, сооружения, грузы, либо причинён иной материальный ущерб [1].

Материал и методы

Существующие методы сбора и анализа показателей аварийности в России включают в себя множество методов [2], расчётов и постоянных нововведений и/или поправок, используемых в организациях разного уровня, таких как:

1) федеральная служба государственной статистики: отталкиваясь от работы, согласно собранным данным за период времени Росстат публикует сводные отчеты, которые, в свою очередь, включают в себя проанализированную информацию о динамике показателей числа дорожно-транспортных происшествий, что даёт возможность в дальнейшем провести прогнозирование и отследить тенденции на проблемных участках улично-дорожной сети;

2) всемирная организация здравоохранения: ВОЗ после проанализированных данных публикует информацию о состоянии безопасности дорожного движения в различных странах, в том числе и аварийность в России. Данный свод статистики даёт возможность для проведения аналогий и сопоставления выходных данных с другими странами, а также определить действенные принятые меры по урегулированию ситуации на дороге;

3) госавтоинспекция, показатели состояния безопасности дорожного движения: регулярные свежие выходные данные размещаются на сайте с классификацией произошедших ДТП на территории Российской Федерации и областей в целом, где можно определить изучить показатели и определить факторы риска для определённой группы (водители легковых транспортных средств, дети до 16 лет, водители в алкогольном опьянении, происшествия на трассах разного значения) [3, 4].

Система оформления ДТП с участием сотрудников ГАИ включает в себя основные пункты касаясь оформления отчётности согласно п.2.5 ПДД РФ. Самостоятельно составляя

конодательных требований к эксплуатации транспортных средств и ужесточение штрафных санкций, безусловно способствуют улучшению транспортной ситуации. Несмотря на положительную тенденцию, существует потребность к изменению процедуры регистрации ДТП для более детального анализа параметров, оказывающих влияние на возникновение происшествия.

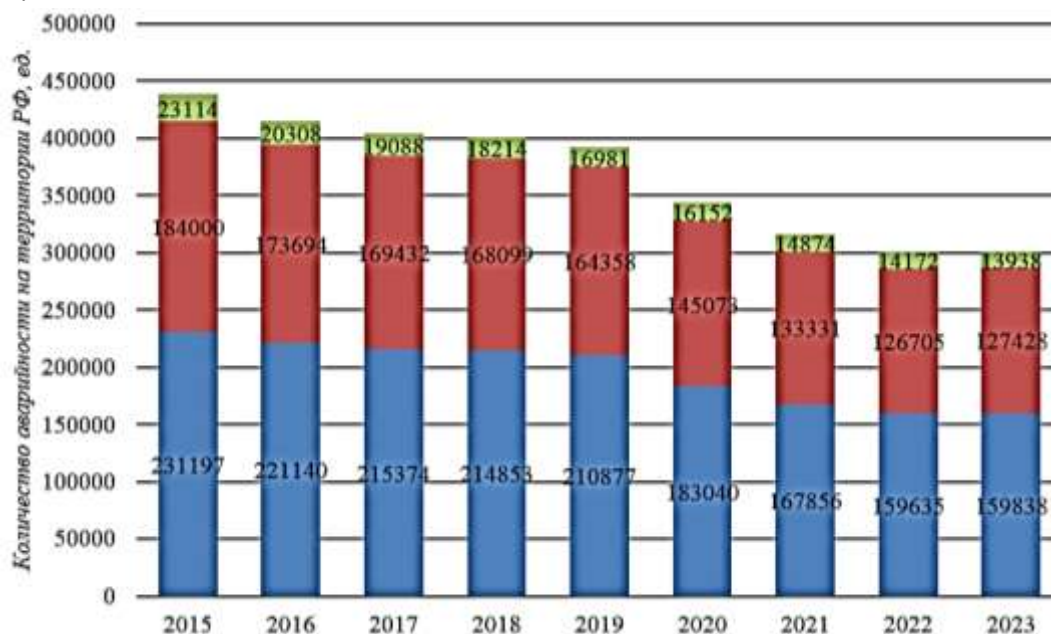


Рисунок 2 – Дорожно-транспортные происшествия в Российской Федерации за 2015–2023 гг.

Изменения в ДТП и численности населения коснулись Белгородской, Курской и Орловской области в том числе. Так, аварийность в Белгородской области в период пандемии COVID-19, которая впервые зафиксирована была 17 ноября 2019 года, а началась 31 января 2020 года, снизилась. Количество ДТП в 2020 г. составило 1156, что меньше по сравнению с 2019 годом. И если в 2019 г. с их участием произошло 1323 ДТП, в которых количество раненных равняется 1669, а погибших 154, то уже по статистике за 2020 г. эти показатели заметно снизились – 1425 (-14,6%) раненных и 138 (-10,3%) погибших, при 1156 ДТП.

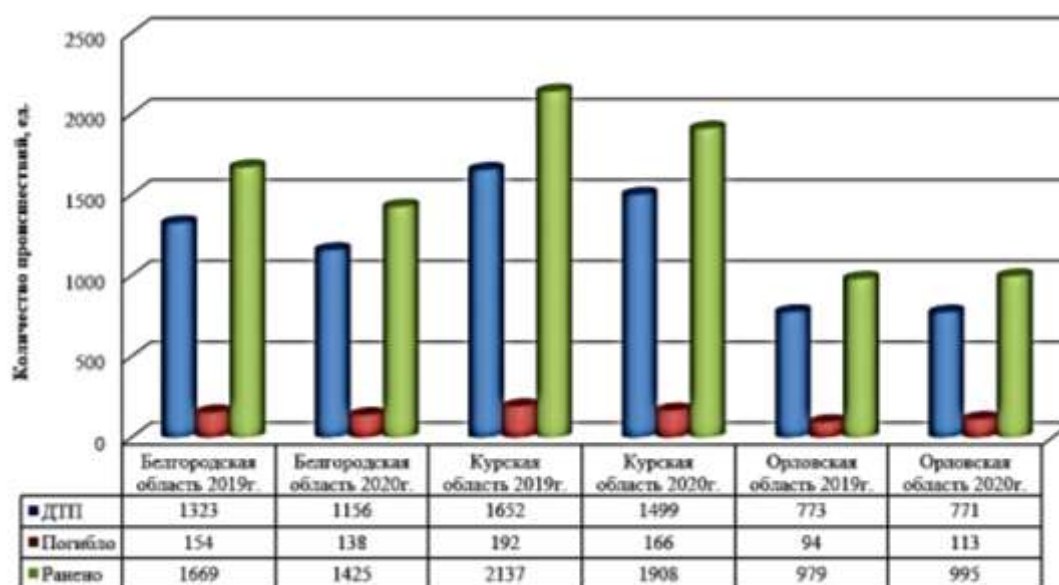


Рисунок 3 – Дорожно-транспортные происшествия в Белгородской, Курской и Орловской областях за период с 2019 по 2020 гг.

Однотипная ситуация произошла и в Курской области. В разрезе региона аварийность в 2020 г. составила 1499, что меньше по сравнению с 2019 годом. И если в 2019 г. с их участием произошло 1652 ДТП, в которых количество раненных равняется 2137, а погибших 192, то уже по статистике за 2020 г. эти показатели заметно снизились – 1908 (-10,7 %) раненных и 166 (-13,5 %) погибших, при 1499 ДТП. Однако в Орловской области во время принятия карантинных мер, согласно данным Госавтоинспекции по показателям состояния безопасности дорожного движения, ситуация по числу ДТП изменилась в другую сторону - увеличилось число раненных и погибших. Количество ДТП в 2020 г. составило 771, что больше по сравнению с 2019г. И если в 2019 г. с их участием произошло 773 ДТП, в которых количество раненных равняется 979, а погибших 94, то уже по статистике за 2020 г. эти показатели значительно увеличились – 995 (+1,6 %) раненных и 113 (+20,2 %) погибших, при 771 ДТП (рис. 3).

Результаты

Анализ тенденций и роста дорожно-транспортных происшествий в Российской Федерации может помочь в формировании системы принятия определённых мер, способствующих на урегулирование дорожной обстановки, а также на стабилизацию положения. Помимо этого, проанализированные статистические данные и заключения по причинам численного изменения аварийности в разрезе областей положительно скажутся на работу правоохранительных органов и местных властей, ответственных за сбор и формирование информации аварийности, а также числа погибших и раненных [8-9]. К основополагающим мероприятиям относительно изменения числа ДТП в Российской Федерации относят: профилактику (виртуальные приложения, обучение в образовательных программа, социальные опросы), организацию дорожного движения (использование современных стратегий в строительстве дорожного полотна и в развитие ТС), технический и дорожный надзор (использование спец. средств, фото- и видеосъёмка, наблюдение за передвижением участников дорожного движения) [10-12].

Обсуждение

Сбор информации относительно дорожно-транспортных происшествий на территории Российской Федерации, а также в разрезе Федеральных округов и регионов проходит несколько этапов внесения. Вследствие чего загруженные статистические данные на сайте Госавтоинспекции по показателям состояния безопасности дорожного движения публикуются не сразу, но с точными количественными результатами погибших, раненных и общего числа происшествий на дороге [13].

Вывод

Аналитика аварийности относительно влияющих причин на рост и определённые закономерности дорожно-транспортных происшествий представляет собой работу системы и деятельности профилактических мероприятий, внедряемых в обучающий процесс и жизнь граждан Российской Федерации. Внедрение профилактических мероприятий, отталкиваясь от сбора информации и статистических данных на сайтах (Госавтоинспекция по показателям состояния безопасности дорожного движения, Росстат, Воз) значительно улучшает качество и скорость сбора информации о ДТП [14-15]. Обеспечение надёжности систем мониторинга показателей аварийности и возможность следить за актуальными данными ДТП на территории Российской Федерации является ключевым для разработки и внедрения особых мероприятий по повышению показателей БДД и успешного применения современных методов [16-20].

Взаимосвязь между инновационными технологиями и знание влияющих и сопутствующих факторов и причин соответственно, могут привести к значительным положительным изменениям относительно социального риска и социологических опросов.

Благодарность

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. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] / Система требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.
2. Шевцова А.Г. Математический анализ определенных показателей безопасности дорожного движения в Российской Федерации // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18. №6(82). С. 700-711.
3. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Обзор передовых технологий в области безопасности дорожного движения // Научные технологии и инновации: сборник докладов Международной научно-практической конференции. Ч. 5. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 139-143.
4. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Васильева В.В. Внедрение интеллектуальной транспортной системы Ramp Metering на примере г. Белгород // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №4(63). С. 42-48.
5. Макеев А.В., Лазарев С.Н. Анализ состояния БДД при выполнении мероприятий для достижения нулевой смертности // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых - 2022: сборник научных статей 11-й Международной молодежной научной конференции. Т. 4. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 411-413.
6. Пугачев И.Н., Щеглов В.И. Методология разработки и реализации концепции безопасности дорожного движения и программы мероприятий на территории субъекта (на примере Хабаровского края) // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2017. №1. С. 92-96.
7. Булатова О.Ю. Принципы функционирования транспортной инфраструктуры в умных городах // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-1(78). С. 73-78. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78.
8. Криволапова О.Ю. Подход к оценке эффективности объектов совершенствования транспортной сети // Научное обозрение. 2014. №11-2. С. 606-608.
9. Булатова О.Ю. Интеллектуальные транспортные системы. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. 101 с.
10. Булатова О.Ю. Применение элементов интеллектуальных транспортных систем при организации транспортно-логистического обслуживания во время проведения массовых городских мероприятий // Дороги и мосты. 2022. №1(47). С. 294-304.
11. Кулев А.В., Новиков А.Н., Кулев М.В., Кулева Н.С. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2016. С. 378-382.
12. Шевцова А.Г., Новиков И.А., Боровской А.Е. Современный подход к управлению светофорным объектом // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2016. С. 366-370.
13. Semykina A., Zagorodnii N., Novikov I., Novikov A. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North // Transportation Research Procedia. St. Petersburg. 2021. P. 611-616. DOI 10.1016/j.trpro.2021.09.090.
14. Dorokhin S.V., Zelikov V.A., Strukov Y.V. [et al.] Investigation of methods for calculating duration of light signal regulation cycle // Journal of Physics: Conference Series. Tomsk. 2018. P. 032128. DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032128.
15. Novikov I.A., Lazarev D.A., Kudinov D.V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. №21. P. 42721-42724.
16. Новиков И.А., Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Управление и организация дорожного движения при оценке единичного элемента системы «ВАДС» // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы международной научно-практической конференции / Под общей редакцией А.Н. Новикова. Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс». 2015. С. 231-238.
17. Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города. Белгород-Орел: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2023. 239 с.
18. Shevtsova A.G., Novikov A.N., Silyanov V.V. Method of Urban Traffic Management // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications: Conference Proceedings. Moscow. 2021. P. 9416113. DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416113.
19. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов, А.Н. Новиков, С.В. Еремин, А.Г. Шевцова. 2-е издание, переработанное и дополненное. Москва-Орёл-Белгород: Белгородский Государственный Технологический Университет им. В. Г. Шухова, 2024. 331 с.
20. Glagolev S., Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Prospects for Reducing Accidents on the Roads of the Russian Federation Using the Scientific and Methodological Approach // MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 334. P. 01038. DOI 10.1051/mateconf/202133401038.

Бычкова Кристина Александровна

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

Студент

E-mail: christosh3003@gmail.com

Подкопаев Антон Валерьевич

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

Аспирант

E-mail: palinoleum@yandex.ru

Шевцова Анастасия Геннадьевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Д.т.н., доцент, профессор кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта

E-mail: anastasiya-shevcova@mail.ru

Васильева Виктория Владимировна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Адрес: 302026 г. Орел, ул. Комсомольская, 95

К.т.н., доцент, доцент кафедры сервиса и ремонта машин

E-mail: vivaorel57@gmail.com

K.A. BYCHKOVA, A.V. PODKOPAEV, A.G. SHEVTSOVA, V.V. VASILYEVA

MODERN METHODS OF COLLECTING AND PROCESSING DATA ON ROAD TRAFFIC ACCIDENTS

Abstract. The article presents statistics of road traffic research and analysis of modern methods of information processing. The purpose of this study is to analyze the initial data on emergency situations in the Russian Federation and the use of various big data processing systems. The analysis of the initial data on accidents is based on a system that combines the total number of accidents from various sources, such as statistical reports (State Traffic Safety Inspectorate on Road Safety Indicators, Rosstat and WHO), photo and video recording cameras, as well as network analysis. The results of the scientific study emphasize the gradual use of modern methods to improve road safety indicators.

Keywords: road accidents, road safety, Diptych system, statistical analysis

BIBLIOGRAPHY

1. Pokazateli sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs] / Sistema trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.
2. Shevtsova A.G. Matematicheskiy analiz opredelennykh pokazateley bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2021. T. 18. №6(82). S. 700-711.
3. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Obzor peredovykh tekhnologiy v oblasti bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Naukoemkie tekhnologii i innovatsii: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. CH. 5. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova. 2016. S. 139-143.
4. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Vasil'eva V.V. Vnedrenie intellektual'noy transportnoy sistemy Ramp Metering na primere g. Belgorod // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №4(63). S. 42-48.
5. Makeev A.V., Lazarev S.N. Analiz sostoyaniya BDD pri vypolnenii meropriyatiy dlya dostizheniya nulevoy smernosti // Pokolenie budushchego: Vzglyad molodykh uchenykh - 2022: sbornik nauchnykh statey 11-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. T. 4. Kursk: YUgo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet, 2022. S. 411-413.
6. Pugachev I.N., Shcheglov V.I. Metodologiya razrabotki i realizatsii kontseptsii bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya i programmy meropriyatiy na territorii sub"ekta (na primere Habarovskogo kraya) // Dal'niy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa. 2017. №1. S. 92-96.

7. Bulatova O.YU. Printsipy funktsionirovaniya transportnoy infrastruktury v umnykh gorodakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-1(78). S. 73-78. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78.
8. Krivolapova O.YU. Podkhod k otsenke effektivnosti ob"ektov sovershenstvovaniya transportnoy seti // Nauchnoe obozrenie. 2014. №11-2. S. 606-608.
9. Bulatova O.YU. Intellektual'nye transportnye sistemy. Rostov-na-Donu: Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskoy universitet, 2022. 101 s.
10. Bulatova O.YU. Primenenie elementov intellektual'nykh transportnykh sistem pri organizatsii transportno-logisticheskogo obsluzhivaniya vo vremya provedeniya massovykh gorodskikh meropriyatiy // Dorogi i mosty. 2022. №1(47). S. 294-304.
11. Kulev A.V., Novikov A.N., Kulev M.V., Kuleva N.S. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo passazhirskogo transporta // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva. 2016. S. 378-382.
12. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Sovremennyy podkhod k upravleniyu svetofornym ob"ektom // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva. 2016. S. 366-370.
13. Semykina A., Zagorodnii N., Novikov I., Novikov A. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North // Transportation Research Procedia. St. Petersburg. 2021. P. 611-616. DOI 10.1016/j.trpro.2021.09.090.
14. Dorokhin S.V., Zelikov V.A., Strukov Y.V. [et al.] Investigation of methods for calculating duration of lightsignal regulation cycle // Journal of Physics: Conference Series. Tomsk. 2018. P. 032128. DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032128.
15. Novikov I.A., Lazarev D.A., Kudinov D.V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. №21. P. 42721-42724.
16. Novikov I.A., Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Upravlenie i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya pri otsenke edinichnogo elementa sistemy "VADS" // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / Pod obshchey redaktsiei A.N. Novikova. Orel: FGBOU VPO "Gosudarstvennyy universitet - uchebno-nauchno-proizvodstvennyy kompleks". 2015. S. 231-238.
17. Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G. Puti povysheniya bezopasnosti funktsionirovaniya obshchestvennogo transporta v usloviyakh perspektivnogo razvitiya goroda. Belgorod-Orel: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskoy universitet im. V.G. Shukhova. 2023. 239 s.
18. Shevtsova A.G., Novikov A.N., Silyanov V.V. Method of Urban Traffic Management // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications: Conference Proceedings. Moscow. 2021. P. 9416113. DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416113.
19. Teoriya transportnykh potokov v proektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya / V.V. Sil'yanov, A.N. Novikov, S.V. Eremin, A.G. Shevtsova. 2-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe. Moskva-Oriol-Belgorod: Belgorodskiy Gosudarstvennyy Tekhnologicheskoy Universitet im. V. G. Shukhova, 2024. 331 s.
20. Glagolev S., Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Prospects for Reducing Accidents on the Roads of the Russian Federation Using the Scientific and Methodological Approach // MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 334. P. 01038. DOI 10.1051/mateconf/202133401038.

Bychkova Kristina Alexandrovna

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Student
E-mail: christosh3003@gmail.com

Shevtsova Anastasia Gennad'evna

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Doctor of Technical Sciences
E-mail: anastasiya-shevcova@mail.ru

Podkopaev Anton Valerievich

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Postgraduate student
E-mail: palinoleum@yandex.ru

Vasilyeva Victoria Vladimirovna

Oryol State University
Address: 302026 Russia, Orel, Komsomolskaya St., 95
Candidate of Technical Sciences
E-mail: vivaorel57@gmail.com

А.Ю. РОДИЧЕВ

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИЗНОСА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы повышения надёжности и увеличения эксплуатационного ресурса подшипников скольжения, которые являются ключевыми элементами балансирной подвески автомобиля КАМАЗ. Предложена интегрированная контрольно-измерительная система, позволяющая осуществлять мониторинг состояния подшипников в режиме реального времени. Система основана на использовании датчиков, фиксирующих параметры износа и температуры, а также алгоритмов машинного обучения для прогнозирования остаточного ресурса. Проведены экспериментальные исследования, подтвердившие эффективность системы в выявлении начальных стадий износа и предотвращении внезапных отказов. Разработаны технологические процессы изготовления подшипников с интегрированными датчиками, обеспечивающие их устойчивость к высоким температурам и механическим нагрузкам. Внедрение системы позволит повысить надёжность, безопасность и экономическую эффективность эксплуатации грузовых автомобилей при работе в тяжёлых условиях.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, интегрированная контрольно-измерительная система, твердосмазочные антифрикционные покрытия

Введение

Вопросы повышения надёжности машин, узлов и механизмов всегда были актуальны для всех транспортных средств, а увеличение эксплуатационного ресурса машин и механизмов является важной задачей, имеющей значительный экономический эффект. В связи с этим тематика исследования в данной области является актуальной, поскольку она направлена на совершенствование приемов и способов прогнозирования и обеспечения показателей надёжности (наработка на отказ, ресурс) подшипника скольжения, одного из самых распространённых и ответственных элементов в составе основных узла автомобильной техники. Подшипники скольжения - это важные компоненты, которые являются неотъемлемой частью поршневых и роторных машин, обеспечивающих их надёжную работу на протяжении длительного времени. Работоспособность подшипникового узла скольжения зависит от состояния внутренней рабочей поверхности самого подшипника скольжения. Определить фактическое состояние рабочей поверхности подшипников скольжения не представляется возможным, так как подшипник скольжения находится непосредственно внутри узла или агрегата (двигателя, компрессора, турбины и др.). Износ рабочей поверхности подшипника скольжения, может привести к внезапному выходу из строя агрегата в целом, что недопустимо. Поэтому в процессе работы подшипникового узла, важно спрогнозировать ресурс его работы, на основе мониторинга износа его рабочей поверхности, что повысит надёжность функционирования агрегата в процессе всего периода эксплуатации.

Примером распространённых агрегатов, использующих в своей конструкции подшипники скольжения, являются двигатели внутреннего сгорания и агрегаты их наддува (турбокомпрессоры), поршневые компрессоры, элементы подвески и т.д. В качестве наглядного примера рассмотрим состояние подшипников скольжения двигателя внутреннего сгорания, к которым относятся: шатунные и коренные подшипники скольжения коленчатого вала, подшипники скольжения верхней головки шатуна, при этом стоит отметить, что данные сопряжения являются динамически нагруженными. Определение фактического состояния рабочей поверхности подшипников скольжения в данных соединениях невозможно по конструктивным особенностям. О его состоянии можно судить по косвенным признакам, а именно по показаниям одного или двух датчиков давления масла в двигателе внутреннего сгорания. За

частую изменение давления в двигателе может быть вызвано как одной причиной, так и их совокупностью, таких как низкий уровень масла, качество масла, неисправность датчика давления, загрязнение масляного фильтра, неисправность масляного насоса, износ подшипников скольжения. Как следствие этого неисправность ищут методом исключения каждой из причин, что влечет за собой простой как агрегата, так и машины в целом. Как показывают практические исследования к износу пары трения (в нашем случае это износ рабочей поверхности подшипника скольжения, который определяется состоянием и геометрическими размерами поверхностей шеек и внутренней поверхности вкладышей, ресурсом цилиндропоршневой группы), обращаются в самый последний момент, когда уже требуется капитальный ремонт двигателя. Данный пример распространяется и на перечисленные выше узлы, агрегаты автомобильного транспорта.

Другим таким характерным примером является износ рабочей поверхности подшипников скольжения балансирной подвески, который представляет собой серьезную проблему, оказывающую значительное влияние на эксплуатационные характеристики, безопасность и экономическую эффективность транспортного средства. В условиях интенсивной эксплуатации, характерной для грузовых автомобилей, подшипники скольжения подвергаются значительным динамическим и статическим нагрузкам, что приводит к постепенному ухудшению их состояния. Основным следствием износа рабочей поверхности подшипников является нарушение геометрии сопрягаемых элементов, что влечёт за собой увеличение зазоров и ухудшение условий смазки. Это, в свою очередь, способствует росту трения и температуры в узле, что может привести к локальному перегреву и заклиниванию подшипников.

Одним из наиболее критичных последствий износа подшипников скольжения является нарушение устойчивости и управляемости автомобиля. Балансирная подвеска, являясь ключевым элементом ходовой части, обеспечивает равномерное распределение нагрузки между осями и гашением колебаний, возникающих при движении по неровным поверхностям. Однако при износе подшипников происходит смещение осей и нарушение баланса, что приводит к неравномерному распределению нагрузок, увеличению амплитуды колебаний и снижению устойчивости транспортного средства. Особенно опасным это становится при движении на высоких скоростях или в условиях бездорожья, где потеря управляемости может привести к аварийным ситуациям. Кроме того, износ подшипников скольжения сопровождается повышенными вибрациями и шумом, что негативно сказывается на комфорте водителя и пассажиров, а также способствует ускоренному износу других элементов подвески и ходовой части. Вибрации, передающиеся на раму и кабину автомобиля, могут вызывать усталостные повреждения металлических конструкций, что в долгосрочной перспективе снижает общий ресурс транспортного средства. Помимо этого, нарушение условий смазки и увеличение трения в узле приводят к перегреву, что может вызвать деформацию деталей и их последующее разрушение.

Таким образом, прогнозирование ресурса подшипников скольжения, основанного на выявлении начала износа и его нарастания до допустимой величины в отведенный промежуток времени на базе данных полученных от контрольно-измерительной системы, интегрированной в подшипник скольжения, и обработанных с помощью методов машинного обучения является актуальной научной проблемой, как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации машин и оборудования, что требует совершенствования моделей отказов, методов расчёта ресурса подшипников скольжения на основе физики процессов с учётом конструктивных, эксплуатационных и режимных факторов, а также разработки и внедрения нового метода контроля износа и определения остаточного ресурса с использованием методов машинного обучения.

Материал и методы

Мониторинг износа рабочих поверхностей может осуществляться с помощью разнообразных методов, включая измерение вибрации, температуры, акустических шумов, а также с использованием специальных датчиков и систем диагностики [1-3]. В результате такого мони-

торинга можно получить информацию о скорости и характере износа, а также определить необходимость замены или ремонта подшипника [4-5]. Цифровизация промышленных объектов в основном касается создания виртуального образа реального технического комплекса – цифрового двойника. Формирование виртуальных копий оборудования позволяет достичь ряда преимуществ, включая снижение численности персонала, увеличение уровня автоматизации и надежности работы, сокращение затрат на проведение опытных исследований и времени на разработку и внедрение новой техники на рынке [6]. Крупнейшая мировая энергетическая корпорация, General Electric, внедрила на свои объекты программное обеспечение Predix для получения и обработки данных промышленного оборудования. Указано, что благодаря интеллектуальной системе мониторинга, способной анализировать большие объемы данных, были обнаружены первичные, небольшие проблемы в турбине, которые в будущем могли привести к более серьезным последствиям [7]. Цифровые преобразования такого рода можно также увидеть в подразделении авиационной промышленности компании General Electric, где создана программа для обработки и анализа большого объема данных о эксплуатируемых самолетах. Это позволяет ускорить обнаружение неисправностей и заранее предсказать необходимый объем ремонтных работ. В результате удалось сэкономить более 100 миллионов долларов США [8]. Существует множество научных исследований, посвященных не только анализу и обработке больших объемов данных, но также разработке методов управления характеристиками подшипников, вращающихся механизмов [9]. Современные достижения в области микроэлектроники, систем управления контроллерами, программируемых логических интегральных схем и датчиков, и приводов открывают возможности для создания решений на микроуровне, позволяющих управлять давлением в тонких смазочных слоях подшипников скольжения, с большой частотой изменять магнитные поля в активных магнитных подшипниках и изменять конфигурацию каналов в бесконтактных уплотнителях [10-11]. Эти подходы позволят в перспективе предсказывать влияние на работоспособность вращающихся механизмов и обеспечивать повышенную виброустойчивость и надежность [12].

Вибромониторинг оборудования — это одна из наиболее распространенных форм мониторинга состояния, в связи с тем, изменение характеристик вибрации часто является одним из первых признаков отказа оборудования. Отдельное внимание стоит уделить российским системам мониторинга турбоагрегатов, таких как «Вибробит-300», «Диамех-2000», «Инновация» и «Компакс Т», все они работают на основе принципа объединения измерений характеристик реальной роторной системы с математическими моделями. Это позволяет определить набор параметров для текущего оценивания работоспособности и прогноза остаточного ресурса важнейших компонентов и узлов [13].

Большинство описанных подходов к прогнозированию остаточного ресурса узлов оборудования основано на обработке значительных объемов эксплуатационных данных в типичных условиях эксплуатации [14-16]. Повышению точности прогнозирования ресурса подшипников посвящены множество работ, которые предлагают новые методы сбора, обработки и постобработки данных [17-19]. Новые методы решают типичные проблемы, такие как ограниченное количество и качество данных. В ряде работ рассматриваются вопросы внедрения различных систем идентификации текущего состояния оборудования [20-21].

Исходя из анализа степени проработки темы исследования установлено, что на данный момент не существует универсального подхода для прогнозирования износа рабочих поверхностей подшипников скольжения в режиме реального времени. Для каждого конкретного объекта, условий его работы требуется своя методика сборки и сопряжения математических моделей объекта и процессов для точной оценки остаточного ресурса на основе фактического состояния системы. Одним из путей решения данной проблемы может являться интеграция контрольно-измерительной системы как в сам поверхностный слой подшипника скольжения, так и в подшипниковый узел. Отсутствие готового решения проблемы мониторинга состояния внутренней рабочей поверхности подшипника скольжения является еще одним подтверждением актуальности рассматриваемой темы исследования.

Теория

Алгоритмы функционирования контрольно-измерительной системы подшипников скольжения с индикатором износа для балансирной подвески автомобиля КамАЗ представляют собой комплекс взаимосвязанных процессов, направленных на мониторинг состояния рабочей поверхности подшипников, прогнозирование их остаточного ресурса и своевременное предупреждение о критическом износе. Основой системы является интеграция датчиков, способных фиксировать параметры, характеризующих состояние подшипников.

На первом этапе функционирования системы происходит сбор данных с датчиков, установленных в непосредственной близости от подшипников скольжения. Полученные данные передаются в центральный блок обработки, где осуществляется их предварительная фильтрация и анализ. На этом этапе используются алгоритмы, позволяющие исключить случайные помехи и выделить значимые изменения, связанные с износом.

Важным этапом функционирования системы является формирование сигналов предупреждения о критическом износе. На основе анализа данных система определяет момент, когда износ достигает допустимого предела, и генерирует сигнал для водителя или сервисной службы. Это позволяет своевременно принять меры по замене подшипников или проведению технического обслуживания, что предотвращает внезапные отказы и снижает риск аварийных ситуаций. Сигналы могут быть визуальными (например, индикация на приборной панели) или звуковыми, и передаваться в удалённые системы мониторинга для дальнейшего анализа.

Для контроля состояния подшипниковых узлов скольжения балансирной подвески автомобиля КамАЗ были разработаны несколько алгоритмов функционирования контрольно-измерительной системы:

- использование датчика износа с дискретным конечным состоянием;
- использование датчика износа с несколькими дискретными положениями;
- использование датчика износа, основанного на изменении параметров электрической цепи.

Алгоритм функционирования контрольно-измерительной системы с датчиком износа подшипников скольжения с дискретным конечным состоянием для определения состояния подшипника на основе обрыва цепи (рис. 1).

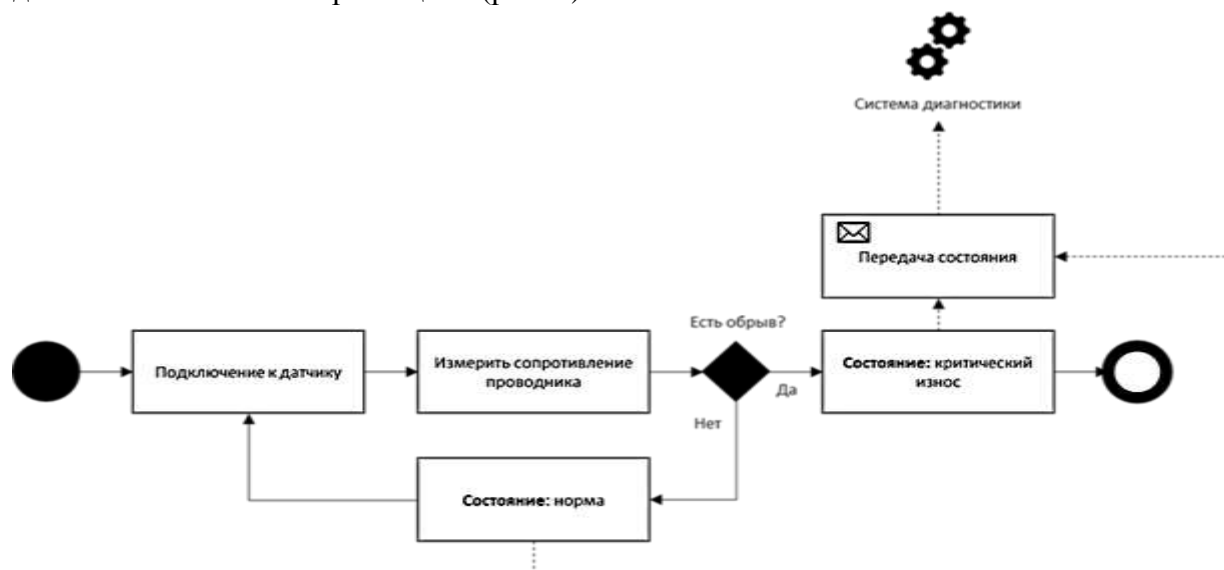


Рисунок 1 – Алгоритм функционирования контрольно-измерительной системы с датчиком износа подшипников скольжения с дискретным конечным состоянием

Датчиком износа подшипника скольжения с дискретным конечным состоянием представляет собой проводник, встроенный в подшипник, который разрушается при достижении определенного уровня износа [22]. Проводник начинает соприкасаться с подвижными частями

ми подшипника и разрушается, создавая обрыв цепи, что сигнализирует о критическом уровне износа. Система диагностики периодически опрашивает датчик, измеряя сопротивление проводника. Если цепь не разорвана, состояние подшипника считается нормальным, и процесс опроса повторяется через заданный интервал времени. В случае обнаружения обрыва цепи система передает сообщение о критическом износе, инициируя немедленное техническое обслуживание. Предложенный алгоритм позволяет эффективно контролировать состояние подшипников скольжения с использованием датчика износа с дискретным конечным состоянием. Он обеспечивает своевременное выявление критического уровня износа, предотвращает аварии и снижает затраты на обслуживание оборудования.

Алгоритм функционирования контрольно-измерительной системы с датчиком износа имеющим несколько дискретных положений позволяет более точно контролировать состояние подшипника скольжения, разделяя процесс износа на несколько этапов (рис. 2). Это дает возможность своевременно принимать меры на разных стадиях износа, что повышает надежность и безопасность эксплуатации оборудования [23].

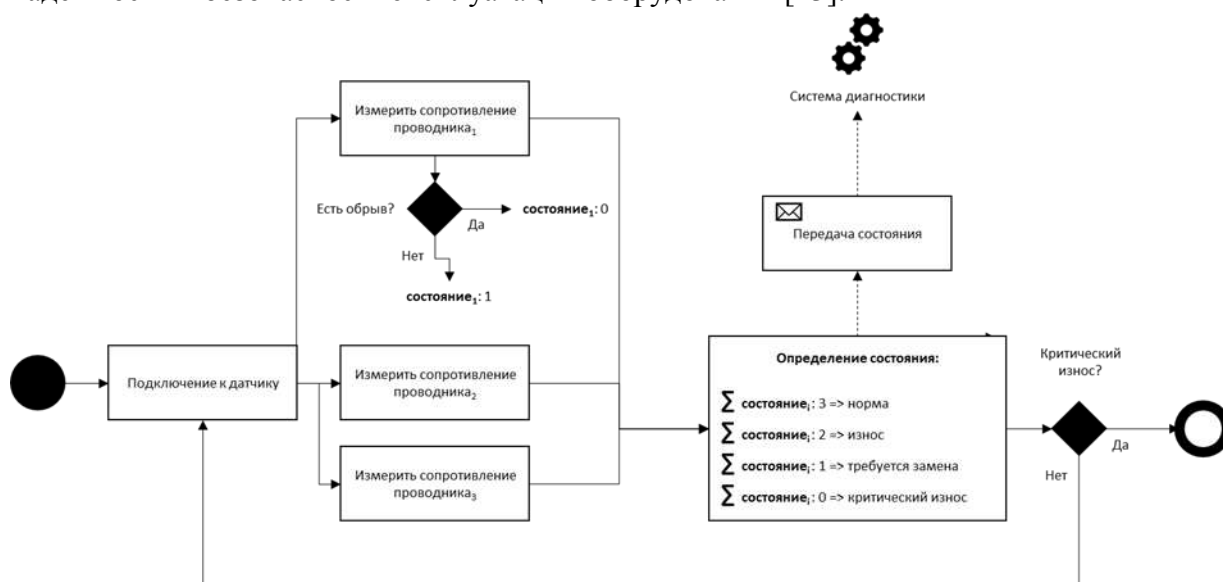


Рисунок 2 – Алгоритм функционирования контрольно-измерительной системы с датчиком износа подшипников скольжения с несколькими дискретным положениями

В данном случае датчик износа с несколькими дискретными положениями является усовершенствованной версией предыдущего типа, включающей несколько проводников, введенных в поверхность подшипника. Датчик позволяет более точно определить степень износа подшипника, оценивая количество активных (неразрушенных) проводников. При увеличении износа каждый проводник поочередно разрушается, соприкасаясь с подвижными частями подшипника. Состояние подшипника классифицируется по четырем уровням: «норма» (все проводники целы), «износ» (один проводник разрушен), «требуется замена» (два проводника разрушены), и «критический износ» (три и более проводников разрушены). Система диагностики регулярно опрашивает датчик, измеряя состояние каждого проводника, и передает соответствующее сообщение о состоянии подшипника. Предложенный алгоритм функционирования контрольно-измерительной системы подшипников скольжения с датчиком износа с несколькими дискретными положениями обеспечивает эффективный мониторинг состояния подшипника и своевременное реагирование на изменения. Это позволяет повысить надежность, безопасность и экономическую эффективность эксплуатации оборудования.

Алгоритм функционирования контрольно-измерительной системы с датчиком износа основанным на измерении параметров электрической цепи, позволяет контролировать состояние подшипника скольжения путем отслеживания изменений электрических характеристик материала подшипника или специального чувствительного элемента (рис. 3). Такой подход обеспечивает высокую точность и надежность диагностики [23].

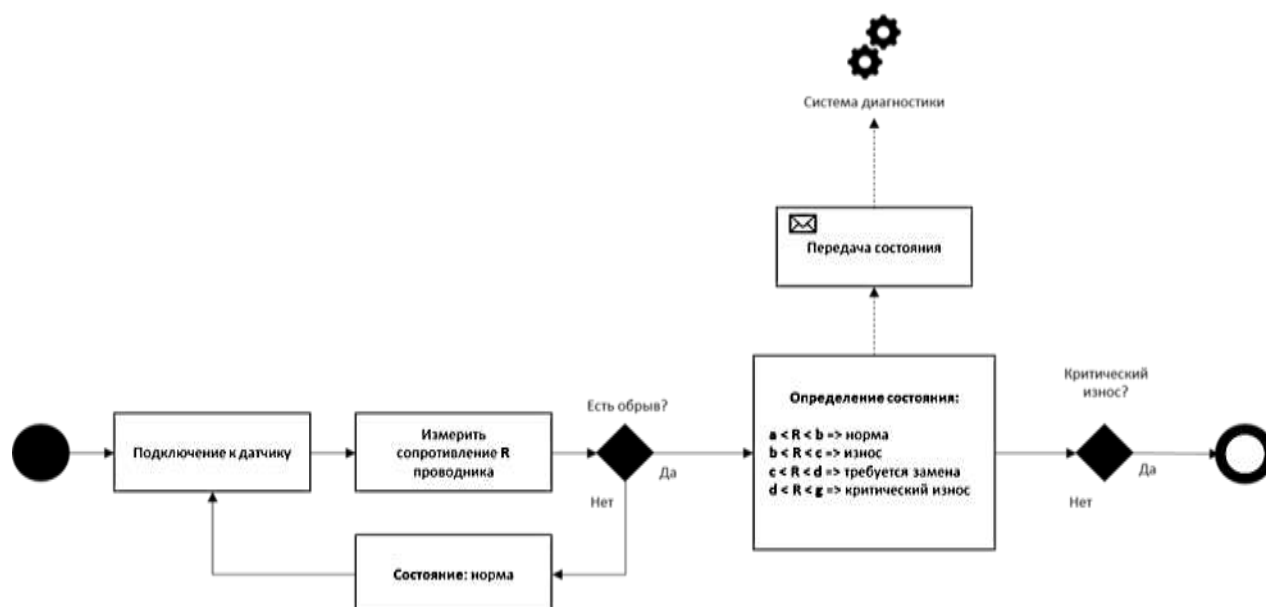


Рисунок 3 – Алгоритм функционирования контрольно-измерительной системы с датчиком износа подшипников скольжения, основанного на измерении параметров электрической цепи

Данный датчик износа основан на измерении параметров электрической цепи датчика, может представлять собой сетчатую структуру, расположенную на поверхности подшипника или чувствительный элемент, интегрированный в поверхностный антифрикционный слой. В этом случае проводник имеет большую площадь сечения и постепенно стирается при контакте с подвижными частями подшипника. Система диагностики измеряет сопротивление проводника и сравнивает его с пороговыми значениями, соответствующими различным уровням износа. Степень износа классифицируется по четырем уровням: «норма» (сопротивление в пределах нормы), «износ» (сопротивление превышает первый порог), «требуется замена» (сопротивление превышает второй порог), и «критический износ» (сопротивление превышает третий порог). Система диагностики передает сообщение о состоянии подшипника, позволяя своевременно планировать техническое обслуживание.

Результаты и обсуждение

На основе приведенных выше алгоритмов работы функционирования контрольно-измерительной системы подшипников скольжения был разработан чертеж подшипника скольжения с интегрированной системой контроля износа рабочей поверхности, создана его 3D модель и составлена принципиальная схема технологический процесс его изготовления (рис. 4). Изготовления подшипника скольжения с контролем износа состоит из следующих этапов:

1. Разработка конструкторской документации
2. Разработка технологии изготовления:
 - а) изготовление заготовки;
 - в) проточка канавок на рабочей поверхности подшипника скольжения под индикатор контроля износа;
 - г) сверления отверстий для установки датчиков температуры и вывода контактов индикатора контроля износа;
 - д) фрезерование наружной поверхности втулки для вывода укладки жгута проводов измерительной системы;
 - е) очистка поверхности подшипника скольжения и ее обезжиривание;
 - ж) установка индикаторов контроля износа и их фиксация, повторное обезжиривание;
 - и) нанесение твердого антифрикционного покрытия;
 - к) установка датчика или датчиков температуры и их фиксация;

л) формирование и фиксация жгута проводов контрольно-измерительной системы.

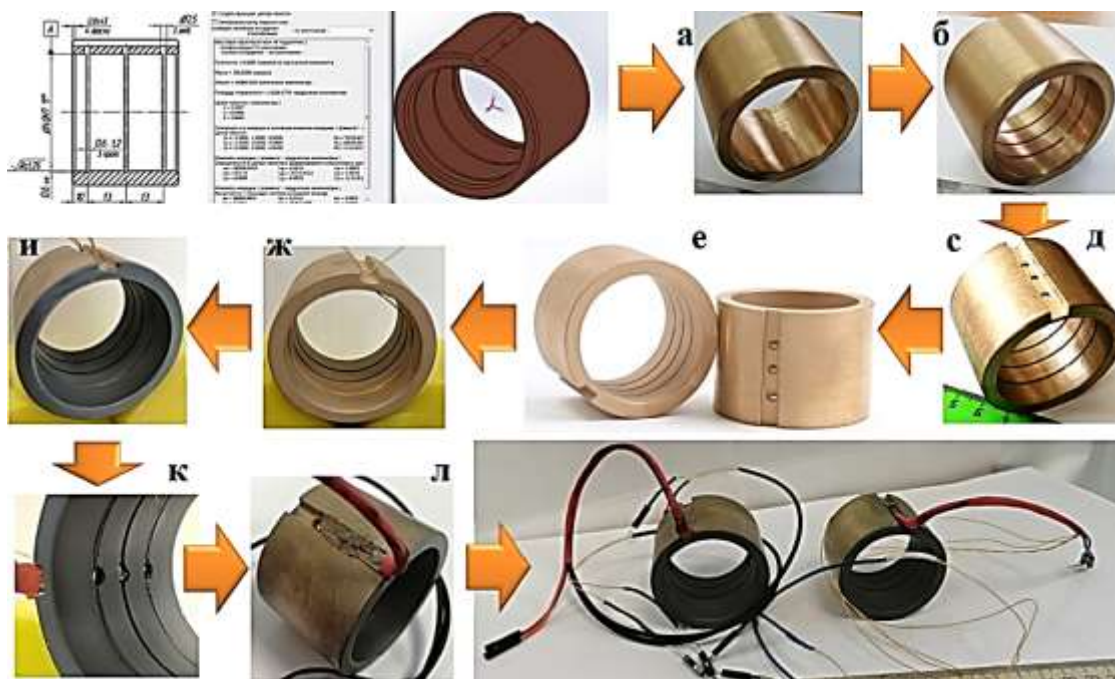


Рисунок 4 – Принципиальная схема технологический процесс изготовления подшипника скольжения с интегрированной системой контроля износа рабочей поверхности

Реализация и проверка работоспособности подшипников скольжения с интегрированной системой контроля износа рабочей поверхности происходила на специально разработанной экспериментальной установке (рис. 5).

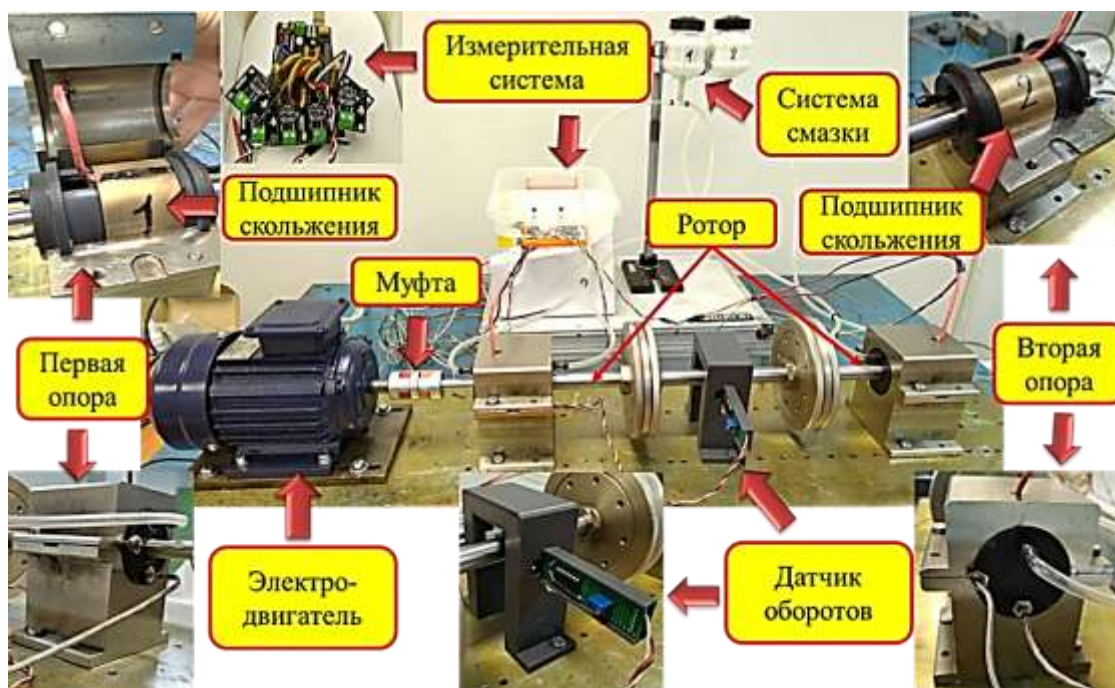


Рисунок 5 – Структурная схема экспериментальной установки

В ходе проведённых исследований функционирования интегрированной контрольно-измерительной системы в подшипниковый узел было установлено, что внедрение данной системы позволяет осуществить мониторинг состояния подшипников скольжения и прогнозирование их остаточного ресурса. Экспериментальные данные показали, что система способна в режиме реального времени фиксировать изменения ключевых параметров, таких как тем-

пература смазочного материала, температура поверхностного антифрикционного слоя, температура подшипника скольжения и состояние индикаторов износа, что обеспечивает своевременное выявление начальных стадий износа. Было отмечено, что использование алгоритмов машинного обучения для обработки данных позволяет не только идентифицировать текущее состояние подшипников, но и прогнозировать развитие износа с учётом эксплуатационных условий, таких как нагрузка, скорость движения и качество смазки.

Кроме того, исследования подтвердили, что интеграция датчиков в поверхностный слой подшипника не оказывает негативного влияния на его механические и антифрикционные свойства. Это достигается за счёт применения современных материалов и технологий, обеспечивающих устойчивость датчиков к высоким температурам и механическим нагрузкам. В ходе испытаний также было установлено, что система способна генерировать сигналы предупреждения о критическом износе с высокой точностью, что позволяет минимизировать риск внезапных отказов и сократить затраты на техническое обслуживание.

В заключение следует отметить, что внедрение контрольно-измерительной системы с индикатором износа для подшипников скольжения балансирной подвески автомобиля КАМАЗ позволяет значительно повысить надёжность и безопасность эксплуатации транспортного средства. Использование современных алгоритмов анализа данных и машинного обучения обеспечивает точное прогнозирование износа и своевременное предупреждение о необходимости технического обслуживания, что снижает затраты на ремонт и увеличивает срок службы подшипников. Это делает систему важным инструментом для повышения эффективности эксплуатации грузовых автомобилей в условиях интенсивных нагрузок.

Выводы

В ходе проведенных исследований:

- 1) разработана интегрированная контрольно-измерительная система для мониторинга износа подшипников скольжения балансирной подвески автомобиля КАМАЗ, основанная на использовании датчиков и алгоритмов машинного обучения;
- 2) экспериментальные исследования подтвердили, что система способна в режиме реального времени фиксировать изменения ключевых параметров, таких как температура, вибрация и состояние индикаторов износа, что позволяет своевременно выявлять начальные стадии износа и прогнозировать остаточный ресурс подшипников;
- 3) интеграция датчиков в поверхностный слой подшипника не оказывает негативного влияния на его механические и антифрикционные свойства благодаря использованию современных материалов и технологий;
- 4) система обеспечивает высокую точность прогнозирования износа и своевременное предупреждение о необходимости технического обслуживания, что позволяет минимизировать риск внезапных отказов и сократить затраты на ремонт;
- 5) внедрение предложенной системы повышает надёжность, безопасность и экономическую эффективность эксплуатации грузовых автомобилей в условиях интенсивных нагрузок, что делает её перспективным решением для машиностроительной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ding N., Li H., Yin Z., Zhong N., Zhang L. Journal Bearing Seizure Degradation Assessment and Remaining Useful Life Prediction Based on Long Short-Term Memory Neural Network. Measurement 2020. 166. 108215.
2. Suh S., Jang J., Won S., Jha M.S., Lee Y.O. Supervised Health Stage Prediction Using Convolutional Neural Networks for Bearing Wear. Sensors 2020. 20. 5846.
3. Chen X., van Hillegersberg J., Topan E., Smith S., Roberts M. Application of Data-Driven Models to Predictive Maintenance: Bearing Wear Prediction at TATA Steel. Expert Syst. Appl. 2021. 186. 115699.
4. Li N., Lei Y., Gebraeel N., Wang Z., Cai X., Xu P., Wang B. Multi-Sensor Data-Driven Remaining Useful Life Prediction of Semi-Observable Systems. IEEE Trans. Ind. Electron. 2021. 68. P. 11482-11491.
5. Wen P., Li Y., Chen S., Zhao S. Remaining Useful Life Prediction of IIoT-Enabled Complex Industrial Systems with Hybrid Fusion of Multiple Information Sources. IEEE Internet Things J. 2021. 8. P. 9045-9058.

6. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Марусева В.М. «Умные» цифровые двойники – основа новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения // Трамплин к успеху. Цифровая экономика знаний. 2018. №13. С. 13-17.
7. Официальный сайт Predix [Электронный ресурс]. URL: www.predix.io.
8. Добрынин А.П., Черных К.Ю., Куприяновский В.П., Куприяновский П.В., Синятов С.А. Цифровая экономика – различные пути к эффективному применению технологий // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т.4. №1. С.4-11.
9. Chasalevris A., Dohnal F. Improving stability and operation of turbine rotors using adjustable journal bearings // Tribology International. 2016.
10. Cai Z. Nonlinear control and its application to active tilting-pad bearings. PhD dissertation. Louisiana State University. 2005. 97 p.
11. Shutin D., Savin L. Control of Rotor Motion Using Active Fluid-Film Bearings // Proceedings of the 9th IFToMM International Conference on Rotor Dynamics, Mechanisms and Machine Science 21. Springer International Publishing Switzerland. 2015. P.1115-1122.
12. Bondarenko M.E., Polyakov R.N., Shutin D.V., Savin L.A. The approach to building the algorithm for controlling rotor motion in a hybrid mechatronic bearing // Vibroengineering Procedia. 2016. Vol. 8. P. 219-224.
13. Куменко А.И. Перспективы развития систем диагностики технического состояния генерирующего оборудования ТЭС. Состояние и развитие отечественных систем виброконтроля и диагностики // Сборка в машиностроении. 2008. №2. С. 25-37.
14. Du X., Jia W., Yu P., Shi Y., Cheng S. A Remaining Useful Life Prediction Method Based on Time-Frequency Images of the Mechanical Vibration Signals. Measurement 2022. 202. 111782.
15. Yan J., He Z., He S. A Deep Learning Framework for Sensor-Equipped Machine Health Indicator Construction and Remaining Useful Life Prediction. Comput. Ind. Eng. 2022. 172. 108559.
16. Li T., Si X., Pei H., Sun L. Data-Model Interactive Prognosis for Multi-Sensor Monitored Stochastic Degrading Devices. Mech. Syst. Signal Process. 2022. 167. 108526.
17. Yu W., Shao Y., Xu J., Mechefske C. An Adaptive and Generalized Wiener Process Model with a Recursive Filtering Algorithm for Remaining Useful Life Estimation. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2022. 217. 111424.
18. Wang R., Shi R., Hu X., Shen C. Remaining Useful Life Prediction of Rolling Bearings Based on Multiscale Convolutional Neural Network with Integrated Dilated Convolution Blocks. Shock Vib. 2021. 2021. 6616861.
19. Wen J., Gao H. Remaining Useful Life Prediction of Bearings with the Unscented Particle Filter Approach. J. Vib. Shock 2018. 37. P. 208-213.
20. König F., Sous C., Ouald Chaib A., Jacobs G. Events for Wear Monitoring in Sliding Bearing Systems. Tribology International. 2021. Vol. 155.
21. Xinchun Zhuang, Sajad Saraygord Afshari, Tianxiang Yu, Xihui Liang. A hybrid model for wear prediction of a single revolute joint considering a time-varying lubrication condition. Wear. 2020. Vol. 442-443.
22. Мехатронный подшипник скольжения: пат. 2398142 Рос. Федерация. № 2009118718/11 / Санин Л.А. Поляков Р.Н.; заявл. 18.05.09; опублик. 27.08.10, Бюл. № 24. 5 с.
23. Мехатронный подшипник скольжения: пат. 2750542 Рос. Федерация № 2020132615 / Новиков А.Н., Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Горин А.В.; заявл. 23.09.20; опублик. 29.06.21, Бюл. № 19. 5 с.
24. Устройство контроля износа подшипника скольжения: пат. 2783716 Рос. Федерация № 2022110171 / Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Попов С.Г., Горин А.В., Родичева И.В.; заявл. 13.04.22; опублик. 16.11.22, Бюл. № 32. 7 с.

Родичев Алексей Юрьевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

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

E-mail: rodfox@yandex.ru

A.Yu. RODICHEV

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN INTEGRATED CONTROL AND MEASUREMENT SYSTEM FOR MONITORING WEAR OF PLAIN BEARINGS

Abstract. The article considers the issues of increasing the reliability and increasing the service life of plain bearings, which are key elements of the balance beam suspension of the KAMAZ vehicle. An integrated control and measuring system is proposed that allows monitoring the condition of bearings in real time. The system is based on the use of sensors that record wear and temperature parameters, as well as machine learning algorithms for predicting the remaining life. Experimental studies have been conducted that confirmed the effectiveness of the system in identifying the initial stages of wear and preventing sudden failures. Technological processes for the manufacture of bearings with integrated sensors have been developed, ensuring their resistance to high temperatures and mechanical

loads. The implementation of the system allows increasing the reliability, safety and economic efficiency of trucks when working in difficult conditions

Keywords: *experimental research, integrated control and measuring system, solid lubricant anti-friction coatings*

BIBLIOGRAPHY

1. Ding N., Li H., Yin Z., Zhong N., Zhang L. Journal Bearing Seizure Degradation Assessment and Remaining Useful Life Prediction Based on Long Short-Term Memory Neural Network. *Measurement* 2020. 166. 108215.
2. Suh S., Jang J., Won S., Jha M.S., Lee Y.O. Supervised Health Stage Prediction Using Convolutional Neural Networks for Bearing Wear. *Sensors* 2020. 20. 5846.
3. Chen X., van Hillegersberg J., Topan E., Smith S., Roberts M. Application of Data-Driven Models to Predictive Maintenance: Bearing Wear Prediction at TATA Steel. *Expert Syst. Appl.* 2021. 186. 115699.
4. Li N., Lei Y., Gebräel N., Wang Z., Cai X., Xu P., Wang B. Multi-Sensor Data-Driven Remaining Useful Life Prediction of Semi-Observable Systems. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2021. 68. R. 11482-11491.
5. Wen P., Li Y., Chen S., Zhao S. Remaining Useful Life Prediction of IIoT-Enabled Complex Industrial Systems with Hybrid Fusion of Multiple Information Sources. *IEEE Internet Things J.* 2021. 8. R. 9045-9058.
6. Borovkov A.I., Ryabov YU.A., Maruseva V.M. "Umnye" tsifrovye dvoyniki - osnova novoy paradigmy tsifrovogo proektirovaniya i modelirovaniya global'no konkurentosposobnoy produktsii novogo pokoleniya // *Tramplin k uspekhu. Tsifrovaya ekonomika znaniy.* 2018. №13. S. 13-17.
7. Ofitsial'nyy sayt Predix [Elektronnyy resurs]. URL: www.predix.io.
8. Dobrynin A.P., Chernykh K.YU., Kupriyanovskiy V.P., Kupriyanovskiy P.V., Sinyatov S.A. Tsifrovaya ekonomika - razlichnye puti k effektivnomu primeneniyu tekhnologiy // *International Journal of Open Information Technologies.* 2016. T.4. №1. S.4-11.
9. Chasalevris A., Dohnal F. Improving stability and operation of turbine rotors using adjustable journal bearings // *Tribology International.* 2016.
10. Cai Z. Nonlinear control and its application to active tilting-pad bearings. PhD dissertation. Louisiana State University. 2005. 97 p.
11. Shutin D., Savin L. Control of Rotor Motion Using Active Fluid-Film Bearings // *Proceedings of the 9th IFTOMM International Conference on Rotor Dynamics, Mechanisms and Machine Science* 21. Springer International Publishing Switzerland. 2015. P.1115-1122.
12. Bondarenko M.E., Polyakov R.N., Shutin D.V., Savin L.A. The approach to building the algorithm for controlling rotor motion in a hybrid mechatronic bearing // *Vibroengineering Procedia.* 2016. Vol. 8. P. 219-224.
13. Kumenko A.I. Perspektivy razvitiya sistem diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya generiruyushchego oborudovaniya TES. Sostoyanie i razvitie otechestvennykh sistem vibrokontrolya i diagnostiki // *Sbornik v mashinostroenii.* 2008. №2. S. 25-37.
14. Du X., Jia W., Yu P., Shi Y., Cheng S. A Remaining Useful Life Prediction Method Based on Time-Frequency Images of the Mechanical Vibration Signals. *Measurement* 2022. 202. 111782.
15. Yan J., He Z., He S. A Deep Learning Framework for Sensor-Equipped Machine Health Indicator Construction and Remaining Useful Life Prediction. *Comput. Ind. Eng.* 2022. 172. 108559.
16. Li T., Si X., Pei H., Sun L. Data-Model Interactive Prognosis for Multi-Sensor Monitored Stochastic Degrading Devices. *Mech. Syst. Signal Process.* 2022. 167. 108526.
17. Yu W., Shao Y., Xu J., Mechefske C. An Adaptive and Generalized Wiener Process Model with a Recursive Filtering Algorithm for Remaining Useful Life Estimation. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2022. 217. 111424.
18. Wang R., Shi R., Hu X., Shen C. Remaining Useful Life Prediction of Rolling Bearings Based on Multiscale Convolutional Neural Network with Integrated Dilated Convolution Blocks. *Shock Vib.* 2021. 2021. 6616861.
19. Wen J., Gao H. Remaining Useful Life Prediction of Bearings with the Unscented Particle Filter Approach. *J. Vib. Shock* 2018. 37. R. 208-213.
20. Křnig F., Sous C., Ouald Chaib A., Jacobs G. Events for Wear Monitoring in Sliding Bearing Systems. *Tribology International.* 2021. Vol. 155.
21. Xinchun Zhuang, Sajad Saraygord Afshari, Tianxiang Yu, Xihui Liang. A hybrid model for wear prediction of a single revolute joint considering a time-varying lubrication condition. *Wear.* 2020. Vol. 442-443.
22. Mekhatronnyy podshipnik skol'zheniya: pat. 2398142 Ros. Federatsiya. № 2009118718/11 / Sanin L.A. Polyakov R.N.; zayavl. 18.05.09; opubl. 27.08.10, Byul. № 24. 5 s.
23. Mekhatronnyy podshipnik skol'zheniya: pat. 2750542 Ros. Federatsiya № 2020132615 / Novikov A.N., Rodichev A.YU., Polyakov R.N., Gorin A.V.; zayavl. 23.09.20; opubl. 29.06.21, Byul. № 19. 5 s.
24. Ustroystvo kontrolya iznosa podshipnika skol'zheniya: pat. 2783716 Ros. Federatsiya № 2022110171 / Rodichev A.YU., Polyakov R.N., Popov S.G., Gorin A.V., Rodicheva I.V.; zayavl. 13.04.22; opubl. 16.11.22, Byul. № 32. 7 s.

Rodichev Aleksey Yrievich

Orel State University

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

Candidate of Technical Sciences

E-mail: rodfox@yandex.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-91-97

А.Н. ШЕВЛЯКОВ

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИНТЕГРАЦИИ ПОДСИСТЕМЫ
ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛУЖБЫ СОДЕРЖАНИЯ
ДОРОГ В ИТС ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

***Аннотация.** Автор статьи приводит примеры практической реализации подсистемы диспетчеризации управления службой содержания дорог, описывает существующую архитектуру интеллектуальной транспортной системы Орловской городской агломерации, предлагает мероприятия по развитию этой системы, в частности интеграционной платформы, а также схемы информационного взаимодействия рассматриваемой подсистемы в рамках интеграционной платформы интеллектуальной транспортной системы Орловской городской агломерации.*

***Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные системы, интеграционная платформа, управление служб содержания дорог*

Введение

Методическими указаниями [1], регламентирующими порядок создания и развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в городских агломерациях (ГА) предусмотрено несколько подсистем, непосредственно характеризующих уровень зрелости ИТС. Одной из них является подсистема диспетчеризации управления службой содержания дорог (ПДУССД).

Данная подсистема предусмотрена уже на втором уровне зрелости ИТС ГА [1] и предназначена для мониторинга состояния проезжей части и планирования стратегии проведения мероприятий по ремонту и содержанию дорожного полотна улично-дорожной сети (УДС) [1, 2]. Подсистема должна обеспечивать взаимодействие с Интеграционной платформой (ИП) ИТС ГА [2], что соответствует требованиям нормативной документации [3, 4].

Однако, наличие ПДУССД не гарантирует достижения показателей эффективности ИТС [5], т.к. необходимо обеспечить информационное взаимодействие со смежными подсистемами ИТС ГА. Только в этом случае, возможно получить работоспособную систему, позволяющую эффективно и рационально управлять транспортной инфраструктурой ГА. Рассмотрим опыт реализации ПДУССД в ИТС ГА на примере ИТС Орловской ГА.

Материал и методы

ИТС Орловской ГА включает в себя 15 инструментальных подсистем (рис. 1). Подсистемы светофорного управления (ПСУ), мониторинга параметров транспортных потоков (ПМПТП), видеонаблюдения, детектирования ДТП и ЧС (ПВН) и информирования участников дорожного движения при помощи динамического информационного табло и знаков переменной информации (ПИУДД) объединены в комплекс подсистем управления дорожным движением (КПУДД).

Подсистемы управления маршрутами общественного транспорта (ПУМОТ), мониторинга перемещения общественного транспорта (ПМППОТ), управления «умными остановками» (ПУУО), управления состоянием дорог (ПУСД) и ПДУССД объединены в комплекс подсистем координации движения общественного транспорта и диспетчерского управления транспортом служб содержания дорог (КПКДОТ).

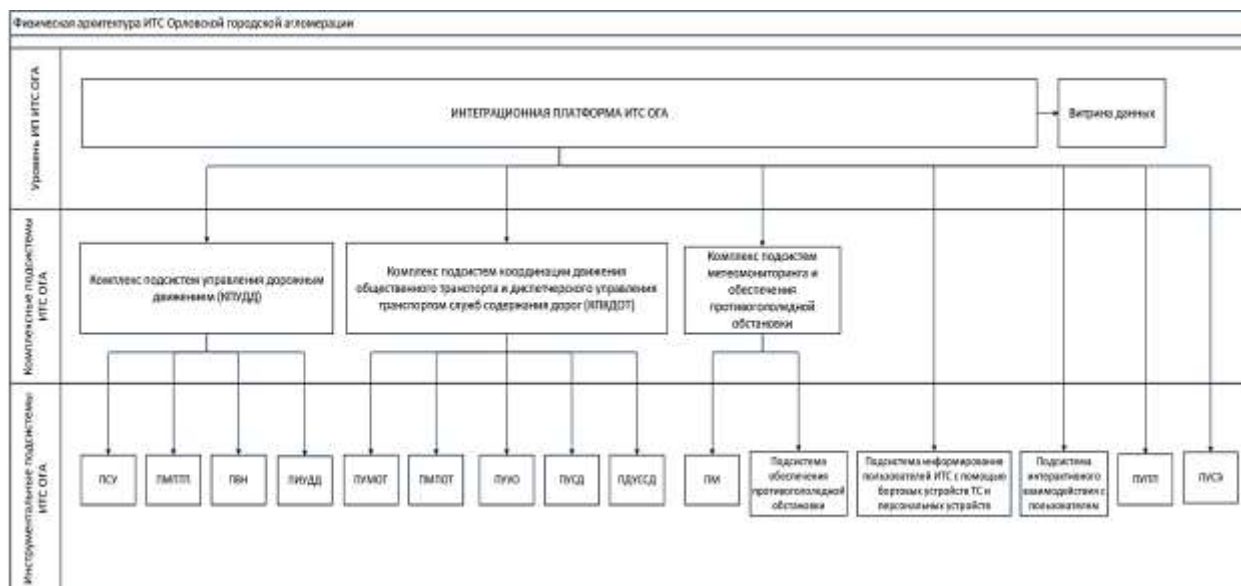


Рисунок 1 – Архитектура ИТС Орловской ГА

Подсистема метеомониторинга (ПМ) и подсистема обеспечения противогололедной обстановки объединены в комплекс подсистем метеомониторинга и обеспечения противогололедной обстановки.

Также имеются:

- подсистема информирования пользователей ИТС с помощью бортовых устройств транспортных средств и персональных устройств;
- подсистема интерактивного взаимодействия с пользователем;
- подсистема управления парковочным пространством (ПУПП);
- подсистема управления службой эвакуации (ПУСЭ).

Все подсистемы взаимодействуют посредством ИП ИТС. Данные о режимах функционирования ИТС городской агломерации отражаются в «Витрине данных».

Теория

В рамках развития ИТС Орловской ГА для эффективного использования ПДУССД возможны несколько сценариев:

- интеграция ПДУССД в ИП ИТС Орловской ГА путем создания отдельного модуля;
- интеграция ПДУССД в ИП ИТС Орловской ГА через модуль управления дорожными работами, объединяющего ПУСД и ПДУССД.

Наиболее рациональным вариантом построения модульной архитектуры ИП Орловской ГА является ограничение количества модулей и объединение в них нескольких инструментальных подсистем ИТС, имеющих схожие функциональные характеристики. Центральным модулем ИП Орловской ГА предлагается выделить модуль аналитики и прогнозирования (рис. 2), структура которого должна соответствовать функциональной архитектуре ИП различных технологических уровней, приведенной в ГОСТ Р 71092-2023 [4].

Учитывая особенности физической и функциональной архитектуры ИТС Орловской ГА и рекомендации ГОСТ Р 71158-2023 [6] при реализации ПДУССД необходимо предусмотреть информационное взаимодействие со следующими подсистемами ИТС Орловской ГА, которое должно производиться на уровне модулей (табл. 1).

Также, в соответствии с рекомендациями [6] предусматриваются следующие уровни архитектуры ПДУССД (рис. 3, 4).



Рисунок 2 – Структура ИП Орловской ГА

Таблица 1 – Элементы ИТС Орловской ГА, с которыми рекомендуется производить информационное взаимодействие ПДУСДД

Модуль ИП ИТС Орловской ГА	Подсистема
Модуль централизованного информирования участников движения	ПМ
	Подсистема обеспечения противогололедной обстановки
	Подсистема информирования пользователей ИТС с помощью бортовых устройств транспортных средств и персональных устройств
	Подсистема интерактивного взаимодействия с пользователем
Модуль координированного управления движением	КПУДД
Модуль контроля эффективности ИТС Орловской ГА	Виджет «Аналитика» витрины данных
	Виджет «Дашборд руководителя» витрины данных
	Виджет «Дашборд» витрины данных
Модуль управления общественным транспортом	ПУМОТ
	ПМПОР
	ПУО



Рисунок 3 – Уровни архитектуры ПДУССД



Рисунок 4 – Уровни архитектуры ПДУССД ИТС Орловской ГА

В соответствии с разработанной схемой, модули и подсистемы ИТС Орловской ГА, участвующие в информационном взаимодействии с ПДУССД являются как источниками информации, необходимой для функционирования ПДУССД, так и получателями информации от ПДУССД и использующие полученную информацию для собственных нужд (табл. 2).

Таблица 2 – Информационное взаимодействие ПДУССД

Подсистема ИТС	Тип предоставляемых данных	Тип получаемых данных
ИП ИТС ГА	Данные о режимах функционирования инструментальных подсистем ИТС ГА	Данные для управления инструментальными подсистемами ИТС ГА
ПМ	Метеорологические данные	-
Подсистема видеонаблюдения, детектирования ДТП и ЧС	Данные о состоянии УДС, полученные от камер видеонаблюдения	-
Подсистема интерактивного взаимодействия с пользователем	Данные о состоянии УДС, полученные через обращения граждан	Данные о планируемых, выполняемых и выполненных работах по содержанию УДС
Подсистема информирования пользователей ИТС с помощью бортовых устройств транспортных средств и персональных устройств	-	Данные о планируемых, выполняемых и выполненных работах по содержанию УДС
Виджет «Аналитика»	-	Данные о планируемых, выполняемых и выполненных работах по содержанию УДС
Виджет «Дашборд руководителя»	-	Данные о планируемых, выполняемых и выполненных работах по содержанию УДС
Виджет «Дашборд»	-	Данные о планируемых, выполняемых и выполненных работах по содержанию УДС
ПУМОТ	-	Данные о планируемых, выполняемых и выполненных работах по содержанию УДС
Модуль координированного управления движением	-	Данные о планируемых, выполняемых и выполненных работах по содержанию УДС

В связи с вышеизложенным, в ИП ИТС Орловской ГА рекомендуется реализовать следующие функции:

- создание и ведение справочника геозон и операций;
- ведение справочника участков дорог как одной из моделей объектов контроля;
- создание планов работ, контроль выполнения работ на объектах контроля;
- автоматизированное создание заявок на обслуживание участков дорог: устранения обнаруженных проблемных участков и выполнения периодических работ;
- иерархическая связь заявок с проведенными работами; регистрация данных о текущем состоянии объекта в техпаспорте объекта;
- оптимизация движения транспорта служб содержания дорог;
- анализ движения транспорта по установленным маршрутам, визуализация событий движения транспорта службы на карте;
- мониторинг текущего состояния транспорта служб содержания дорог.

Результаты и обсуждение

ПДУССД внедрена в условиях Орловской ГА в качестве элемента комплекса подсистем координации движения общественного транспорта и диспетчерского управления транспортом служб содержания дорог, что не соответствует современному представлению о физической и функциональной архитектуре ИТС ГА. Практический опыт интеграции ПДУССД показывает необходимость переработки существующей ИП ИТС Орловской ГА, за счёт мероприятий, приведенных выше.

Выводы

Современный этап развития ИТС требует применения комплексного подхода к формированию транспортной инфраструктуры ГА, которая включает в себя как физические объекты, так и программные продукты. Также внедрение ИТС должно осуществляться на принципах взаимодействия всех подсистем и объектов транспортной инфраструктуры, что является логичным обоснованием развития кооперативных ИТС в нашей стране.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Методических рекомендаций по разработке заявок (включая локальные проекты по созданию и модернизации интеллектуальных транспортных систем) субъектов Российской Федерации на получение субсидий из федерального бюджета бюджетами субъектов Российской Федерации: Распоряжение Министерства транспорта РФ от 27 апреля 2024 г. № АК-95-р.
2. Шевляков А.Н. Подсистема диспетчеризации управления служб содержания дорог. Опыт и перспективы применения искусственного интеллекта // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-2(85). С. 131-139.
3. ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектуре интеллектуальных транспортных систем. Москва : Стандартинформ, 2014. 12 с.
4. ГОСТ Р 71092-2023. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной архитектуре интеграционной платформы интеллектуальных транспортных систем. Москва: Стандартинформ, 2023. 20 с.
5. Евстигнеев И.А. Основы создания интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях России. М.: Издательство «Перо», 2021. 294 с.
6. ГОСТ Р 71158-2023. Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема диспетчеризации управления служб содержания дорог. Общие требования. Москва : Стандартинформ, 2024. 16 с.
7. 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.
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. Новиков А.Н., Пржибыл П., Катунин А.А. Перевозки как наука // Мир транспорта и технологических машин. 2014. №3 (46). С. 96-109.
10. Корягин М.Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. Новосибирск: Наука, 2011. 140 с.
11. 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.
12. Ломакин Д.О. Мезоскопические модели транспортных потоков // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Орел. 2016. С. 53-59.
13. 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.
14. 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.
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., 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.
17. 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. №55. С. 49-51.
18. 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.
19. Savrasov M. Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic level: doctoral thesis. Riga, 2013. 161 p.
20. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Driver's reaction time in evaluation of the road capacity Applied Mechanics and Materials. Vol. 725-726. 2015. P. 1212-1217.
21. 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

ЗАО Группа компаний «НАВИГАТОР»

Адрес: 302006, Россия, г. Орел, Московская ул., д. 155

Руководитель отдела

E-mail: nvg@ntcnvg.ru

A.N. SHEVLYAKOV

PRACTICAL EXPERIENCE IN INTEGRATING THE SUBSYSTEM OF DISPATCHING MANAGEMENT OF THE ROAD MAINTENANCE SERVICE IN ITS URBAN AGGLOMERATION

Abstract. The author of the article gives examples of the practical implementation of the subsystem of dispatching the management of the road maintenance service, describes the existing architecture of the intelligent transport system of the Orel urban agglomeration, suggests measures for the development of this system, in particular the integration platform, as well as information interaction schemes of the subsystem under consideration within the integration platform of the intelligent transport system of the Orel urban agglomeration.

Keywords: intelligent transport systems, integration platform, management of road maintenance services

BIBLIOGRAPHY

1. Ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendatsiy po razrabotke zayavok (vkluychaya lokal'nye proekty po sozdaniyu i modernizatsii intellektual'nykh transportnykh sistem) sub"ektov Rossiyskoy Federatsii na poluchenie sub-sidiy iz federal'nogo byudzheta byudzheta sub"ektov Rossiyskoy Federatsii: Rasporyazhenie Ministerstva transporta RF ot 27 aprelya 2024 g. № AK-95-r.
2. Shevlyakov A.N. Podsystema dispatcherizatsii upravleniya sluzhby soderzhaniya dorog. Opyt i perspektivy primeneniya iskusstvennogo intellekta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №2-2(85). S. 131-139.
3. GOST R 56294-2014. Intellektual'nye transportnye sistemy. Trebovaniya k funktsional'noy i fizicheskoy arkhitekturam intellektual'nykh transportnykh sistem. Moskva : Standartinform, 2014. 12 s.
4. GOST R 71092-2023. Intellektual'nye transportnye sistemy. Trebovaniya k funktsional'noy arkhitekture integratsionnoy platformy intellektual'nykh transportnykh sistem. Moskva: Standartinform, 2023. 20 s.
5. Evstigneev I.A. Osnovy sozdaniya intellektual'nykh transportnykh sistem v gorodskikh aglomera-tsiyakh Rossii. M.: Izdatel'stvo "Pero", 2021. 294 s.
6. GOST R 71158-2023. Intellektual'nye transportnye sistemy. Podsystema dispatcherizatsii upravleniya sluzhby soderzhaniya dorog. Obshchie trebovaniya. Moskva : Standartinform, 2024. 16 s.
7. Bodrov A.S., Kulev M.V., Devyatina D.SH., Lobytseva O.A. Otsenka gotovnosti Orlovskoy gorodskoy aglomeratsii k vnedreniyu intellektual'nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh ma-shin. 2020. №3(70). S. 64-72.
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. Novikov A.N., Przhibyl P., Katunin A.A. Perevozki kak nauka // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2014. №3 (46). S. 96-109.
10. Koryagin M.E. Ravnovesnye modeli sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta v usloviyakh kon-flikta interesov. Novosibirsk: Nauka, 2011. 140 s.
11. Novikov A.N., Sevost'yanov A.L., Katunin A.A., Kulev A.V. Primenenie intellektual'nykh trans-portnykh sistem (ITS) dlya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo obshchestvennogo transpor-ta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2013. №1(40). S. 85-90.
12. Lomakin D.O. Mezoskopicheskie modeli transportnykh potokov // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel. 2016. S. 53-59.
13. Novikov A.N., Vasil'eva V.V., Katunin A.A. Prognozirovaniye vozdeystviya avtotransportnykh po-tokov na akusticheskuyu sredy urbanizirovannykh territoriy na osnove modelirovaniya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2016. №2(55). S. 210-215.
14. Novikov A.N., Ivashchuk O.A., Vasil'eva V.V. Upravlenie 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.
15. Novikov A.N., Golenkov V.A., Baranov YU.N., Katunin A.A., Bodrov A.S. Sovershenstvovanie dorozh-noy seti dlya povysheniya ikh propusknoy sposobnosti s ispol'zovaniem sredstv transportnoy telematiki // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2014. №6. S. 128-139.
16. Novikov A.N., Katunin A.A., Kulev A.V., Peshekhonov M.V. Sravnenie sistem opredeleniya mestopo-lozheniya i ikh primenenie v intellektual'nykh transportnykh sistemakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2013. №2(41). S. 109-113.
17. Novikov A.N., Vasileva V.V., Katunin A.A. Application of environmental monitoring systems as part of in-telligent transport systems // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2014. №S5. S. 49-51.
18. Sevryugina N.S., Melikhova S.B., Volkov E.A. The solution of applied problems of optimization of stabil-ity of system "environment-man-technics" // Modern applied science. 2015. T. 9. №3. C. 200-207.
19. Savrasov M. Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic lev-el: doctoral thesis. Riga, 2013. 161 p.
20. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Driver's reaction time in evaluation of the road capacity Applied Mechanics and Materials. Vol. 725-726. 2015. P. 1212-1217.
21. 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.

Shevlyakov Aleksandr Nikolayevich

NAVIGATOR Group of Companies

Address: 302006, Russia, Orel, Moskovskaya, 155

Head of department

E-mail: nvg@ntcnvg.ru

И.А. НОВИКОВ, Д.А. ЛАЗАРЕВ, А.Г. ЖИХАРЕВ, В.С. ЧЕРНЫХ

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ ДОРОЖНО- ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

Аннотация. *Очень часто недобросовестное отношение уполномоченных лиц к фиксации дорожной обстановки на момент дорожно-транспортного происшествия (далее ДТП) приводит к невозможности установления его механизма и определения истины по делу. В данной работе приведено решение для работы с фотоизображениями при производстве дорожно-транспортной экспертизы с целью восстановления следовой информации и дальнейшей интеграции ее в вычислительный модуль с целью определения параметров механизма дорожно-транспортного происшествия. Определены основные направления исследования, предложены решения, позволяющие восстанавливать автоматически путем недостающую следовую информацию с использованием изображений (фото и видео) для определения параметров механизма ДТП.*

Ключевые слова: *дорожно-транспортное происшествие, транспортное средство, расследование, экспертиза, автоматизация, фотофиксация, видеозапись, нейросети*

Введение

Цифровые технологии все больше влияют на жизнедеятельность человека. В крупных городах (и не только в них) повсеместно распространены камеры контроля и слежения, авто-владельцы все чаще устанавливают видеорегистраторы в салоны своих транспортных средств, а сами современные автомобили оснащаются различными системами контроля, в том числе и видеоцифрового. В связи с этим встает вопрос о применении и использовании средств фото- и видеоконтроля в современных автотехнических исследованиях, связанных с экспертизой дорожно-транспортных происшествий. Очень часто, при работе с материалами ДТП, эксперты также сталкиваются с отсутствием достаточной обработки и фиксации следовой информации на месте ДТП со стороны сотрудников ГИБДД и следственных подразделений, что приводит к отсутствию у эксперта понимания механизма происшествия. [1, 17] Однако, в этом случае данный пробел может восполнить качественный массив фотоматериалов с места дорожно-транспортного происшествия, которых содержит визуальную фиксацию следовой информации. В этом случае основной задачей для эксперта становится восстановление данной информационной обстановки в масштабированном виде (чертеже или схеме) с нанесением размерных характеристик следов и привязок, что сопряжено с большим объемом математических расчетов и нанесения размерных разметок. В этой связи требуется инструмент, позволяющий качественно и полно работать с фото- и видеоизображениями и который позволит:

1) рассчитывать необходимые размеры, сохраняя при этом масштабированность как в продольном (с учетом перспективы изображения), так и в поперечном исчислении (с учетом искажений положения дороги), минимизируя при этом погрешности измерений;

2) подбирать и совмещать по маркерным устойчивым объектам (положениям деревьев, опор ЛЭП, знаков, границ проезжей части и иных объектов) фотоснимков (кадров) с места ДТП и фотоснимков (кадров), изготовленных дополнительно с использованием мерного объекта, в случаях, когда исходные фото/видеоматериалы с места ДТП не содержат мерных объектов (позволяющих сориентировать расчетный математический аппарат относительно размеров объектов на изображении);

3) преобразование фотоснимка с аксонометрией дороги (границы дороги не параллельны и сходятся у горизонта в перспективном виде) в двумерное изображение-схему (вид сверху) со всей следовой информацией на этом изображении при полном сохранении истин

ных размеров;

4) снижение влияния на изображение дисторсии фото/видеообъектива и снижение погрешности восприятия объектов.

Перспективных задач для решения в этом направлении на самом деле значительно больше, но на данном этапе проектирования программного комплекса круг задач был ограничен перечисленным выше функционалом [2].

Материал и методы

Для решения поставленных задач был разработан комплекс программных алгоритмов обработки изображений, основанных на использовании инструментария Ultralytics YOLO и OpenCV, а также интеграцию с LabelMe, что позволяет создавать разметочную область изображений (фото и видео), обеспечивая тем самым автоматизированный и точный анализ следовой информации на дорожной поверхности. Проект дает возможность точного обнаружения и анализа следов, их выделения и расчета размерных характеристик (при наличии мерного маркера). Также инструментарий позволяет автоматизированную смену перспективного аксонометрического изображения на двухмерный «вид сверху» для удобного визуального и аналитического восприятия изображения. Проект представляет собой эффективный инструмент для расследования ДТП [3, 5].

Инструментарий дает возможность выбора зоны исследования с маркированием четырех положений на изображении, ограничивающих данную зону и представляющих углы объекта (рис. 1).

После установки зоны анализа, проводится маркирование (обводка) следа при помощи искусственного интеллекта (рис. 2). Для разметки и расчета размеров имеется возможность наложения в выделенной зоне перспективной сетки.

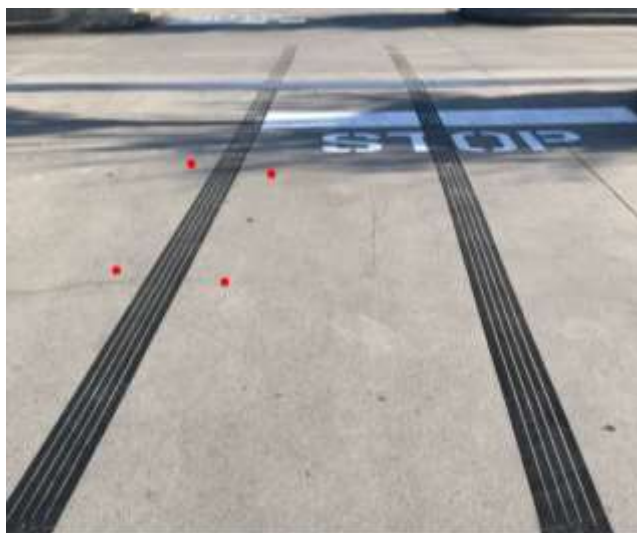


Рисунок 1 – Исходное изображение с расставленными точками



Рисунок 2 – Исходное изображение с наложенной перспективной сеткой

Также инструментарий позволяет применение преобразования фотоснимка с аксонометрией дороги в двумерное изображение-схему «вид сверху» (рис. 3).

Использование перспективной сетки позволяет рассчитать размерное расстояние между двумя поставленными на сетке точками, упрощая расчет эксперту, который вынужден был до этого проводить эти расчеты вручную. Так же инструментарий содержит возможность автоматического добавления недостающих фрагментов следов в основную выбранную фотографию из других фотоснимков, взятых из массива фотоснимков с места ДТП и фрагментно информативных, ориентированных относительно неподвижных маркеров, с учётом ракурса объектива фотографирования, что позволяет дополнить визуальное восприятие объективной картины с места происшествия. Следует отметить, что данный инструмент, хоть и

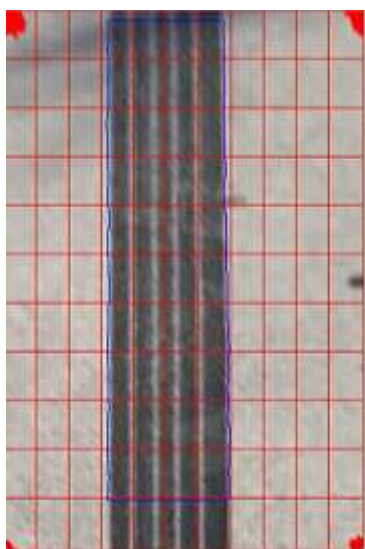


Рисунок 3 – Выделенный участок дороги в проекции «вид сверху» с маркированным следом

перспективен и достаточно инновационен, но требует доработки в целях исключения аппаратного искажения искусственным интеллектом базисной и объективной картины происшествия. На данный момент разработчики в этом направлении продолжают работу. Конечным итогом разработки данной составляющей должна стать 3D-визуализация с наложением фактического фотомассива с места ДТП [4, 6].

Теория

В экспертной практике в настоящий момент применяется программа DTP-Expert, которая позволяет работать экспертам с видеозаписями, устанавливая при этом расстояние между различными объектами на изображении, интервалы времени между выбранными событиями, а также скорости объектов на видеозаписи. Программа имеет широкий спектр возможностей и позволяет проводить размерную разметку изображений, устранять искажения на них, накладывать изображения друг на друга. Все это дает возможность повысить эффективность исследований экспертов при проведении

дорожно-транспортной экспертизы на предмет определения динамических характеристик участников события дорожно-транспортного происшествия.

Программный комплекс DTP-Expert позволяет [7]:

- просматривать видеозаписи в различных режимах просмотра (обычный, кадровый) и в различном порядке (прямой и обратный). Поддерживаются различные форматы и используются различные кодеки.
- масштабировать изображение на видеозаписи, а также фильтровать;
- улучшать качество видеоряда через изменение настроек изображения;
- работать с дисторсией изображений, устранять ее;
- проводить построение и редакционную работу с геометрическими фигурами в виде отрезков, линий, параллелепипедов, треугольников, сеток и т.д.;
- проводить расчеты расстояний между объектами, в том числе и с учетом перспективы;
- накладывать и совмещать изображения между собой с указанием степени прозрачности [7].

Интерфейс программы и некоторые возможности показаны на рисунке 4.

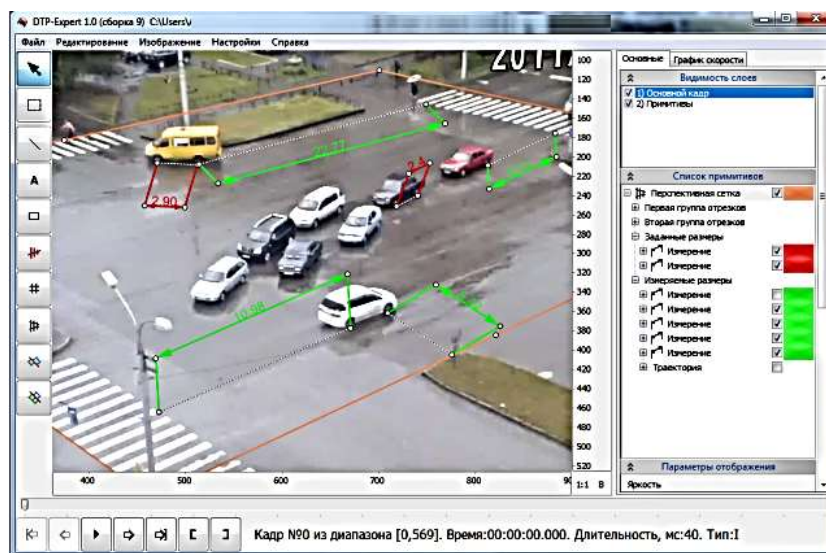


Рисунок 4 – Определение расстояний на плоскости после построения перспективной сетки

Однако, несмотря на хороший функционал и возможности, программа имеет ряд недостатков. Во-первых, она в первую очередь ориентирована на работу с видеоизображениями в первую очередь, что накладывает свои ограничения. Во-вторых, нет ряда функциональных возможностей – например, таких как разворот изображения и создания изометрических проекций, а также глубокая работа со следовой информацией на месте происшествия. В-третьих, как показала практика проверки на фактических реальных происшествиях, где размерные характеристики некоторых объектов на изображении известны, программа выдает в перспективных расчетах (особенно при резкой перспективе, когда границы проезжей части соосны с вертикальными границами фотоснимка) значительные погрешности, что не допустимо. Несмотря на постоянное совершенствование программного комплекса, данная проблема пока не была устранена.

Для понимания работы перспективы необходимо обратиться к теории ее построения. Так в методической литературе рассматривается пример, где на изображении плоскость расположения выбранного объекта соосна с плоскостью дороги, на которой данный объект находится. Исходя из этого условия все построения, в том числе и в перспективу, изготавливаются в плоскости, на которой расположен объект, в ином случае – проецируются на нее.

В месте, где происходит схождение массива линий (каждого), понимая при этом, что в действительности они параллельны в плоскости объекта, располагаются точки, которые образуют искомую линию горизонта.

Для определения этой линии требуется сделать ряд поэтапных шагов:

- найти объект на изображении, грани которого параллельны в действительности, однако, пересекаются в точке схода H ;
- найти другой объект с такими же характеристиками граней, но не параллельных первому объекту, после чего построением установить точку схода H' ;
- соединить точки H и H' отрезком h . Данный отрезок будет линией горизонта (рис. 5) [8, 9].



Рисунок 5 – Определение линии горизонта

Ориентируясь на данную теорию, возможны аппаратные расчеты при работе с большим количеством массивов параллельных линий, а предложенный нами продукт позволит дополнить возможности работы с изображениями для экспертов.

Результаты и обсуждение

Предложенный программный комплекс был протестирован на примере реального дорожно-транспортного происшествия с известным результатом исследования (рис. 6). После столкновения транспортное средство Toyota Duna было отброшено и в результате этого отброса на проезжей части были оставлены следы от этого перемещения, которые не были зафиксированы в материалах дела [10, 17].



Рисунок 6 – Фотоснимок с места дорожно-транспортного происшествия.

Какие-либо мерные объекты (имеющие известный размер или которые могли быть измерены при повторном осмотре) в объектив камеры не попали. Вследствие этого было принято решение провести дополнительный осмотр места происшествия с применением фотосъемки и мерного объекта (измерительного канатного троса с выделяющимися маркерными вешками с шагом 0,5 метра). Однако, первичный фотоснимок изготавливал человек с неизвестными антропометрическими данными и неустановленным положением относительно границ проезжей части при фотографировании, вследствие чего необходимо было изготовить большой массив фотоснимков, позволяющий выбрать аппаратным способом наиболее сходный по ракурсу фотоснимок, ориентируясь на положение стационарных объектов (грунтовой насыпи – 1, опоры ЛЭП – 2; придорожного дерева – 3; границ проезжей части – 4). Выбранный нейросетью фотоснимок представлен на рисунке 7 [11, 13].



Рисунок 7 – Фотоснимок, изготовленный при повторном осмотре

После чего два рисунка были совмещены в аппаратном режиме, а мерный объект задавал масштаб изображению (рис. 8).

После этого фотоснимок с места дорожно-транспортного происшествия был открыт в предлагаемом программном комплексе. Интерфейс программы показан на рисунке 9. При этом интерфейс содержит следующие разделы:

- 1) кнопка открытия файла с местом происшествия;
- 2) наложение перспективной сетки на изображение;
- 3) обводка следов на изображении;
- 4) наложение точек пересечения контура следов и линий сетки;
- 5) поле ввода количества линий сетки по вертикали;
- 6) поле ввода количества линий сетки по горизонтали.



Рисунок 8 – Совмещение фотоснимков.



Рисунок 10 – Интерфейс программного продукта на настоящий момент.

На данном этапе разработки модули поиска и разметки работают автономно, но в дальнейшем будут совмещены.

По нажатию кнопки «Открыть файл» выбираем фото формата jpg или png. После этого устанавливаются маркеры зоны в виде 4-х точек. Маркеры могут быть свободно перемещены удержанием левой кнопки мыши (рис. 11).



Рисунок 11 – Работа с фотоизображением в предлагаемом продукте

Далее вводим размерность перспективной сетки (при этом количество линий, образующих сетку, не имеет ограничения до определенного невозможного предела). При нажатии кнопки «Наложение сетки» формируется два изображения. Первый фотоснимок будет иметь исходное состояние с наложенной сеткой. Второй будет преобразованным изображением выделенного участка фотоснимка с сеткой и видом следов в проекции «вид сверху» (см. рисунок 12) [12, 14, 15].

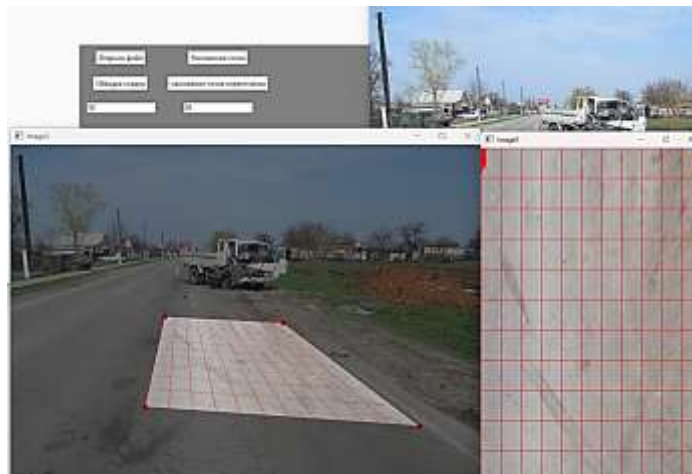


Рисунок 12 – Работа с фотоизображением в предлагаемом продукте.

При нажатии кнопки «Обводка следов», нейронная сеть проводит поиск следов на изображении и маркирует их обводной линией (рис. 13). При нажатии кнопки «Наложение точек пересечения» в местах пересечения границ следа с линиями сетки будут проставляться маркеры пересечений (рис. 14). Это сделано для минимизации погрешностей восстановления схем расположения следов с целью получения следового массива, позволяющего рассчитать сложное неконтролируемое перемещение транспортных средств, которое было предложено авторами ранее в другом модуле [14, 15].

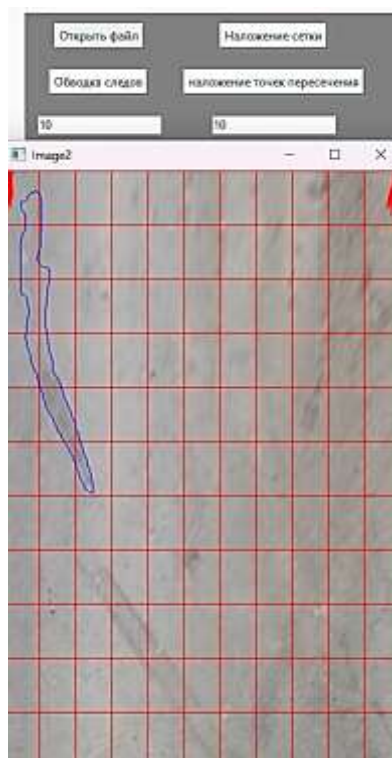


Рисунок 13 – Работа с фотоизображением в предлагаемом продукте

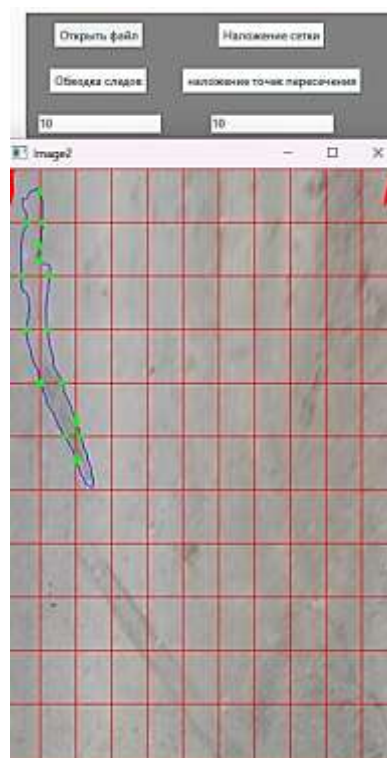


Рисунок 14 – Работа с фотоизображением в предлагаемом продукте

По результатам работы с фотоизображением программой были воссозданы схема места дорожно-транспортного происшествия со следовой информацией в масштабе (рис. 15) [17, 19, 20].

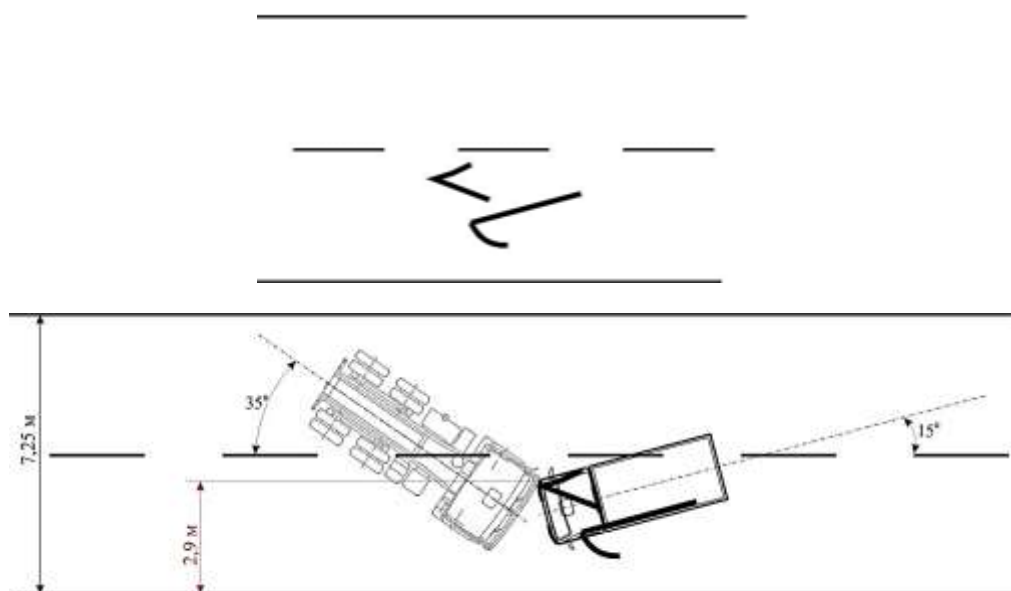


Рисунок 15 – Схема места дорожно-транспортного происшествия в масштабе

Использование предложенного комплексного решения показало свою состоятельность, поскольку позволило решить поставленную задачу по определению виновника дорожно-транспортного происшествия с использованием фотоснимков с места дорожно-транспортного происшествия, где классические методы не давали такой возможности.

Выводы

Таким образом использование предложенного комплекса программ позволит восстанавливать следовую информацию, более полно подойти к процессу исследования и исключить судебные ошибки, которые негативно влияют на экономическую составляющую, связанную с ДТП.

В результате исследования обучены нейросети для работы с массивом фото и видеоматериалов, предложен математический аппарат, позволяющий искать следы на изображении и работать с их размерными характеристиками, в том числе с учетом искажений перспективы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евтюков С.А., Пучкин В.А. Судебная автотехническая экспертиза дорожно-транспортных происшествий // ИД «Петрополис». Санкт-Петербург. 2017. 416 с.
2. Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 288 с.
3. Мирский Д.Я., Горинов Ю.А., Медведева Л.Б. Судебная фототехническая экспертиза. М., 1982.
4. Черных В.С., Жихарев А.Г., Федосеев А.Д., Мартон Н.А. Сравнение эффективности различных методов обучения нейронных сетей // Научный результат. Информационные технологии. Т.8. №1. 2023. С. 83-93. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-8- 1-0-8.
5. Xueqiu Wang, Huanbing Gao, Zemeng Jia, Zijian Li. BL-YOLOv8: An Improved Road Defect Detection Model Based on YOLOv8 // Sensors 2023, 23, 8361.
6. Дмитриев Е.Н. Применение метода цифровой фотографии в криминалистической экспертизе документов. М.: ЭКЦ МВД России, 1995.
7. Система анализа видеозаписей «ДТП-Expert» [Электронный ресурс] / ОТ Контакт: официальный сайт. Москва. 2015. URL: <https://timbre.ru/product.php?WHAT=34&lang=ru>.
8. Фототехническая экспертиза: Методические рекомендации / А.М. Зинин, П.И.Вашко, А.П.Кудалин, Р.С. Юмжапов. М.: ЭКЦ МВД России, 2022. 81 с.

9. Петров С.М. Исследование материалов видеозаписи с целью установления обстоятельств дорожно-транспортного происшествия // Теория и практика судебной экспертизы. №4(32). М.: РФЦСЭ при МЮ РФ. 2013. С. 62-82.
10. Лобанов А.Н. Фотограмметрия: Учебник для ВУЗов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984. 552 с.
11. Жихарев А.Г., Мартон Н.А., Черных В.С. Применение современных технологий сбора данных и методов машинного обучения для распознавания лиц // Научный результат. Информационные технологии. Т.9. №1. 2024. С. 79-87. DOI: 10.18413/2518- 1092-2024-9-1-0-9.
12. Wu T. YOLO-SE: Improved YOLOv8 for Remote Sensing Object Detection and Recognition [Электронный ресурс] // Appl. Sci. 2023. 13. 12977. URL: <https://doi.org/10.3390/app132412977>.
13. Bradski G. Learning OpenCV // O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472.
14. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications // Springer, 2010.
15. Jiao L., Zhang F., Liu F., Yang S., Li L., Feng Z., Qu R. A Survey of Deep Learning-based Object Detection [Электронный ресурс] / IEEE Access. Vol. 7. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939201>.
16. Novikov I.A., Lazarev D.A. Experimental Installation for Calculation of Road Adhesion Coefficient of Locked Car Wheel // Transportation Research Procedia. 2017. V. 20. P. 463-467.
17. Евтюков С.С., Ворожейкин И.В. К вопросу определения расстояния до объекта по фотографическим снимкам при реконструкции ДТП // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №2. 63-68.
18. Евтюков С.А., Голов Е.В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий. - СПб.: Издательский дом «Петрополис», 2017. 204 с.
19. Szeliski R. Image alignment and stitching: a tutorial // Computer Graphics and Vision. Vol. 2. №1. 2006. С. 1-104.
20. Лазарев Д.А., Гринякин Р.В., Стрекалов Д.П., Шаталов Е.В. Применение цифровых алгоритмов при оптимизации процесса расследования дорожно-транспортных происшествий // Воронежский научно-технический вестник. №4(46). 2023. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-107-119.

Новиков Иван Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Д.т.н., профессор, директор транспортно-технологического института, профессор кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта»

E-mail: ooows@mail.ru

Лазарев Дмитрий Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, улица Костюкова, 46

К.т.н., доцент кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта»

E-mail: avtotech31@mail.ru

Жихарев Александр Геннадьевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, улица Костюкова, 46

Д.т.н., доцент, доцент кафедры «Программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем»

E-mail: zhikharev@bsu.edu.ru

Черных Владимир Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Адрес: 308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85

Студент

E-mail: vladimir.tchernih2020@gmail.com

I.A. NOVIKOV, D.A. LAZAREV, A.G. ZHIKHAREV, V.S. CHERNYKH

THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT IMAGING SYSTEM FOR THE TRAFFIC ACCIDENTS INVESTIGATION

Abstract. *The unfair attitude of authorised persons to documentation the traffic situation at the moment of a traffic accident leads to the impossibility of establishing its mechanism and determining the truth of the case. This paper provides a solution for working with photographic images in the production of road accident analysis in order to restore trace information and further integration of it into a computer module in order to determine the parameters of the traffic accident mechanism. The main*

directions of research are determined, solutions are proposed that can allow to recover automatically the missing trace information with usage of images (photos and videos) to determine the parameters of the traffic accident mechanism.

Keywords: *traffic accident, vehicle, investigation, analysis, automaticity, photo fixation, video recording, neural networks*

BIBLIOGRAPHY

1. Evtyukov S.A., Puchkin V.A. Sudebnaya avtotekhnicheskaya ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy // ID «Petropolis». Sankt-Peterburg. 2017. 416 s.
2. Domke E.R. Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2009. 288 s.
3. Mirskiy D.YA, Gorinov YU.A., Medvedeva L.B. Sudebnaya fototekhnicheskaya ekspertiza. M., 1982.
4. Chernykh V.S., Zhikharev A.G., Fedoseev A.D., Marton N.A. Sravnenie effektivnosti razlichnykh metodov obucheniya neyronnykh setey // Nauchnyy rezul'tat. Informatsionnye tekhnologii. T.8. №1. 2023. S. 83-93. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-8- 1-0-8.
5. Xueqiu Wang, Huanbing Gao, Zemeng Jia, Zijian Li. BL-YOLOv8: An Improved Road Defect Detection Model Based on YOLOv8 // Sensors 2023, 23, 8361.
6. Dmitriev E.N. Primenenie metoda tsifrovoy fotografii v kriminalisticheskoy ekspertize dokumentov. M.: EKTS MVD Rossii, 1995.
7. Sistema analiza videozapisey «DTP-Expert» [Elektronnyy resurs] / OT Kontakt: ofitsial'nyy sayt. Moskva. 2015. URL: <https://timbre.ru/product.php?WHAT=34&lang=ru>.
8. Fototekhnicheskaya ekspertiza: Metodicheskie rekomendatsii / A.M. Zinin, P.I. Vashko, A.P. Kudalin, R.S. YUmozhapov. M.: EKTS MVD Rossii, 2022. 81 s.
9. Petrov S.M. Issledovanie materialov videozapisi s tsel'yu ustanovleniya obstayatel'stv dorozhno-transportnogo proisshestviya // Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy. №4(32). M.: RFTSSE pri MYU RF. 2013. S. 62-82.
10. Lobanov A.N. Fotogrammetriya: Uchebnik dlya VUZov. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Nedra, 1984. 552 s.
11. Zhikharev A.G., Marton N.A., Chernykh V.S. Primenenie sovremennykh tekhnologiy sbora dannykh i metodov mashinnogo obucheniya dlya raspoznavaniya lits // Nauchnyy rezul'tat. Informatsionnye tekhnologii. T.9. №1. 2024. S. 79-87. DOI: 10.18413/2518- 1092-2024-9-1-0-9.
12. Wu T. YOLO-SE: Improved YOLOv8 for Remote Sensing Object Detection and Recognition [Elektronnyy resurs] // Appl. Sci. 2023. 13. 12977. URL: <https://doi.org/10.3390/app132412977>.
13. Bradski G. Learning OpenCV // O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472.
14. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications // Springer, 2010.
15. Jiao L., Zhang F., Liu F., Yang S., Li L., Feng Z., Qu R. A Survey of Deep Learning-based Object Detection [Elektronnyy resurs] / IEEE Access. Vol. 7. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939201>.
16. Novikov I.A., Lazarev D.A. Experimental Installation for Calculation of Road Adhesion Coefficient of Locked Car Wheel // Transportation Research Procedia. 2017. V. 20. R. 463-467.
17. Evtyukov S.S., Vorozheykin I.V. K voprosu opredeleniya rasstoyaniya do ob'ekta po fotograficheskim snimkam pri rekonstruktsii DTP // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №2. 63-68.
18. Evtyukov S.A., Golov E.V. Rekonstruktsiya dorozhno-transportnykh proisshestviy. - SPb.: Izdatel'skiy dom «Petropolis», 2017. 204 s.
19. Szeliski R. Image alignment and stitching: a tutorial // Computer Graphics and Vision. Vol. 2. №1. 2006. S. 1-104.
20. Lazarev D.A., Grinyakin R.V., Strekalov D.P., Shatalov E.V. Primenenie tsifrovyykh algoritmov pri optimizatsii protsessa rassledovaniya dorozhno-transportnykh proisshestviy // Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskiiy vestnik. №4(46). 2023. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-107-119.

Novikov Ivan Alekseevich

Belgorod state technological university
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova Str.
Doctor of Technical Sciences
E-mail: ooows@mail.ru

Lazarev Dmitry Alexandrovich

Belgorod state technological university
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova Str.
Candidate of Technical Sciences
E-mail: avtotech31@mail.ru

Zhikharev Alexander Gennadievich

Belgorod state technological university
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova Str.
Doctor of Technical Sciences
E-mail: zhikharev@bsu.edu.ru

Chernykh Vladimir Sergeevich

Belgorod State University
Address: 308015, Russia Belgorod, Pobedy St., 85
Student
E-mail: vladimir.tchernih2020@gmail.com

В.К. ЕНОКАЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЦЕНАРИЕВ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Выполнен обзор современных концепций метода сценариев в различных областях, включая общий системный анализ, проектирование информационных систем, управление социо-техническими системами, теорию программирования и др. Обоснована актуальность ситуационного управления в ИТС и дано формализованное описание процесса интеграции ИТС различного уровня с использованием понятия «сценарного управления», обобщение и уточнение понятия «метода сценариев» для применения в процессах интеграции интеллектуальных транспортных систем. Показана достижимость системного эффекта и роста показателей эффективности для управляемой транспортной системы региона при интеграции различных ИТС с применением метода сценариев.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система; интеграционная платформа; метод сценариев.

Введение

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС), особенно в крупных агломерациях, сочетают в своем составе множество внешних информационных систем (ВИС), среди которых могут быть ИТС различных магистралей, примыкающих к городской агломерации. Очевидно, что разработка принципов и методов интеграции является важной научной задачей. Варианты архитектуры интеграции ИТС в зависимости от организационной структуры представлены в работах [1-3] и могут быть одноуровневой, одноуровневой координированной, одноуровневой двухзвенной, двухуровневой. Управляющие решения при интеграции ИТС и ВИС могут приниматься независимо, согласованно, совместно, либо централизованно вышестоящим органом. Архитектура ИТС в зависимости от способов реализации решений, требующих согласованных действий в смежных АСУДД может быть самостоятельной, интегрированной, административной. Организации системы хранения и обмена данными совместно использования - раздельная, распределенная, единая [1-3]. Предложенная классификация требует выбора наиболее рациональных решений на практике. При этом следует отметить, что кроме перечисленных факторов при оценке эффективности интегрированных систем требуется учет того, какой возникает эффект интеграции непосредственно при функционировании ИТС и каким образом он используется. Известно, что такой сложный комплекс, как ИТС, в действии может реализовать некоторый набор сценариев, что накладывает соответствующие требования к интеграции с позиций сценарного управления.

Материал и методы

Концепции сценарного подхода

В общем системном анализе [4] широко распространен сценарный метод, который применяется в ситуационном подходе принятия решений. Главным условием здесь является наличие некоторой ситуации в управляемой системе, то есть конкретный набор заранее определенных и/или неизвестных факторов. При реализации метода сценариев используются следующие основные принципы, которые составляют сущность данного метода:

- учет различных факторов и переменных, которые могут повлиять на будущее развитие;
- разработку нескольких альтернативных сценариев, чтобы охватить широкий спектр возможных будущих событий;
- анализ и оценку каждого сценария с помощью критериев эффективности и риска;

- выбор наиболее предпочтительного сценария и разработку стратегии для его реализации;
- мониторинг и корректировку стратегии в зависимости от изменений во внешней среде.

Как следует из теории организационных систем [5] операционное моделирование системы исследует процессы, направленные на достижение выбранных целей в соответствии с выбранной стратегией, происходящие внутри системы и на ее стыке с внешней средой, на более детальном (структурном) уровне: «термин «операционное моделирование» отражает тот факт, что процессы, протекающие в системах, состоят из отдельных действий - операций, выполняемых в определенном порядке. Результатом этого этапа моделирования является *операционный сценарий* системы, базирующийся на наборе операций и их характеристиках, на формальном описании событий, инициирующих переходы. Операционный сценарий может быть представлен формальным аппаратом сетей Петри и графов операций. При этом различают два вида операционных сценариев: *целевой*, отображающий динамику достижения целей при выполнении операций (вклад каждой операции), и *сценарий логического управления*, задающий алгоритм функционирования системы с учетом ее архитектуры (состава структурных компонентов и связей между ними). Сценарий логического управления отображает как порядок следования операций, так и взаимодействия (временные и обменные) между процессами, реализуемыми в компонентах системы. При операционном моделировании выявляются аномалии в алгоритме функционирования и архитектуре организационной системы и осуществляется необходимая коррекция».

В рамках стратегического планирования [5] сценарный метод используется как комбинации и перестановки фактов и связанных с ними изменений. На языке теории принятия решений [6] это можно сформулировать следующим образом: сценарий есть совокупность заранее скомбинированных альтернатив, для которых известны исходы. При этом можно пользоваться общепринятым обозначением результатов (исходов) как функции:

$$y = F(x, z), \quad (1)$$

где $x \in X, z \in Z, y \in Y$; X, Z, Y – множества альтернатив, состояний среды (неопределенность), исходов соответственно. Сама функция F является функцией реализации в случае осуществления принятых решений, или функцией планируемого сценария в случае предварительного планирования управления ИТС.

Отметим, что неопределенность в случае управления совокупностью различных ИТС без интеграции зависит, главным образом, от того, что в каждой организационной системе, отвечающей за различные транспортные комплексы, отсутствует информация о текущем состоянии объекта управления, как правило, отсутствует информация о значениях транспортных потоков, а также нет ретроспективных данных, которые позволяли бы выявлять корреляции между альтернативами (законами управления) и исходами (транспортными потоками).

Рассмотрим ниже, каким образом понятие «ситуация» может быть увязана с понятием «сценарий» в интеллектуальной транспортной системе.

Теория

Обоснование актуальности ситуационного управления в ИТС

Для того чтобы охарактеризовать научную и практическую значимость интеграции АСУДД в составе ИТС, необходимо иметь классификацию процессов, происходящих в транспортной системе региона (агломерации). Транспортная система региона состоит из входящих в нее отдельных систем различных видов транспорта, систем управления, информационных систем, обслуживающих и эксплуатирующих систем, транспортной инфраструктуры, а также пользователей систем, которые отличаются своим собственным, слабопредсказуемым, транспортным поведением. Каждая составная часть транспортной системы в целом отличается собственным набором процессов, состоящих из отдельных операций. Компоненты транспортной системы взаимодействуют между собой на уровне операций, что создает значительные, а иногда непреодолимые трудности для оптимального управления.

Основная проблема решения задачи такой классификации заключается в неоднородности, иерархичности, распределенности, нестационарности и стохастичности входящих в состав этой транспортной системы компонентов. В этот перечень можно было бы добавить целый ряд других свойств: открытость, сложность, нелинейность, дискретность и др.

Перечисленные свойства могут быть использованы для выбора общей теоретической платформы, с помощью которой можно моделировать ситуационное управление и объяснить формальное представление интеграции АСУДД в составе ИТС. Например, можно выделить группу топологических свойств систем: открытость, неоднородность, иерархичность, дискретность, распределенность, а также группу поведенческих свойств: нестационарность, нелинейность, стохастичность и сложность. Таким образом, для транспортной системы региона можно создать портрет в координатах «топология – поведение», что является предметом исследования сложных систем и теории самоорганизованной критичности.

Взаимодействие компонентов транспортной системы, как было сказано выше, происходит на уровне операций отдельных процессов. Каждая текущая в данный момент времени операция или операции одного компонента могут взаимодействовать с операциями других компонентов транспортной системы. Например, операции выезда на улицу автомобилей с парковочного пространства влияют на операции движения транспортных средств в перегоне УДС. Операции прибытия пассажиров на остановочные пункты влияют на операции посадки пассажиров на маршрутные транспортные средства. Операции управления светофорными объектами влияют на операции простоя автомобилей в управляемом перегоне. Операции деактивирования транспортных средств влияют на выбор алгоритма управления и т.д.

Далее, с целью решения поставленных в работе задач, мы можем утверждать, что при наличии в составе транспортного процесса n операций некоторая характеристика системы может быть выражена формулой:

$$q_w = \frac{1}{n} H(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) q, \quad (2)$$

где $H(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ – среднегармоническое значение интенсивностей операций, которые могут выполняться последовательно.

Как указано в работе [6], «подобное представление провозной возможности (производительности системы по объему перевозок) дает практический инструмент для обобщения понятия транспортного процесса как многооперационного (многофазного) и/или стохастического, а также для экспериментальных исследований всех его операций. Случайная величина провозной возможности транспортной системы может быть записана для соответствующего оборота (цикла перевозок)»:

$$X_{q_w}^n = \frac{1}{n} H(X_{\mu_1}(\omega), X_{\mu_2}(\omega), \dots, X_{\mu_n}(\omega)) q, \quad (3)$$

где $X_{\mu_i}(\omega)$ – интенсивности операций транспортного процесса, потоков случайных событий. Здесь в качестве аргумента используются исходы (реализации) ω случайных явлений, которые обуславливают случайный характер операций.

Таким образом, исходя из вышеописанного подхода к моделированию процессов в транспортных системах, ситуация – это уникальная совокупность текущих процессов в компонентах транспортной системы, определенная на уровне операций и отнесенная к интервалу времени до и после текущего момента в рамках предполагаемого действия причинно-следственных связей ситуации.

В настоящее время в практике ИТС используются следующие типы ситуаций. В штатном режиме функционирования ИТС представляется целесообразным следующая приоритезация задач управления транспортным комплексом:

- управление дорожным движением, включая подсистему мониторинга и обеспечения безопасности дорожного движения;
- управление пассажирскими перевозками маршрутным транспортом общего пользования;
- обеспечение транспортно-эксплуатационного состояния транспортной инфраструктуры, прежде всего параметров, влияющих на безопасность дорожного движения;

- управление грузовыми перевозками;
- информирование участников движения.

В нештатном режиме функционирования ИТС необходимость и степень взаимодействия смежных ИТС и ВИС будет зависеть от территориального распространения зоны влияния нештатной ситуации. Наилучшие результаты будут достигнуты при обеспечении оперативного взаимодействия ИТС и ВИС попадающих в зону влияния нештатной ситуации как территориально, так и функционально. Для нештатного режима может быть следующая приоритизация задача управления ИТС:

- нештатные ситуации с пострадавшими;
- нештатные ситуации с риском для здоровья и жизни людей при их развитии;
- нештатные ситуации со значительным материальным ущербом;
- нештатные ситуации без прямого материального ущерба, ухудшающие качество функционирования транспортного комплекса;
- перевозка опасных, крупногабаритных и/или тяжеловесных грузов.
- проведение массовых мероприятий (спортивных, культурных и пр.), влияющих на транспортное обслуживание территории.

Данные представления о ситуациях должны быть положены в основу сценарного подхода при оценке эффективности интеграции ИТС.

Обобщение и уточнение понятия «метода сценариев» для применения в процессах интеграции интеллектуальных транспортных систем

Для дальнейших исследований используются основные теоретические подходы к определению сценарного управления [7-12], применяемые для информационных систем с управлением [13, 14].

Интеграция ИТС в части АСУДД различного уровня приводит к изменению состояний транспортных систем, управляемых соответствующими ИТС после выполнения интеграции.

Обычно в рамках конкретной ИТС могут выделяться зоны управления, в каждой из которых устанавливаются определенные критерии, которые должны выполняться при различных ситуациях. Устанавливаются перечни ситуаций и соответствующие сценарии, которые применяются в каждой конкретной ситуации. Совершенно очевидно, что состояние зоны управления зависит от того, в каких ситуациях находятся соседние зоны, т.е., это означает, что невозможно осуществлять управление транспортными процессами в зонах полностью независимо друг от друга. Мы не будем подробно останавливаться на вопросе выбора зоны управления, укажем лишь, что проблемы организации дорожного движения, возникающие в одной зоне, могут переходить в соседние зоны, и, таким образом, очень важно понимать, какая зона является реальным источником проблемы. Поэтому было бы логично находить такие границы зон, чтобы они полностью содержали в своих границах проблемную ситуацию и не «выпускали» бы в соседние зоны. Очевидно, что это является не всегда выполнимой задачей.

Пример применения сценарного подхода при управлении с помощью АСУДД приведен на рис.1 для обеспечения приоритета движения наземного городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП).

Постановка задачи интеграции ИТС с использованием сценарного подхода

Постановка задачи об интеграции ИТС может быть, на основе описанного выше базиса теории принятия решений определена следующим образом:

- 1) формируется граф УДС как совокупность зон управления различных ИТС, объединенных в одну общую транспортную сеть;
- 2) формируется математическая модель транспортных процессов для систем, входящих в ИТС после интеграции;
- 3) формулируется условие оптимизации, которое соответствует равновесному состоянию транспортной системы;

4) решается математическая задача поиска равновесия транспортной системы с заданными законами управления (известными для общей ИТС и обеспечивающими снижение уровня неопределенности).

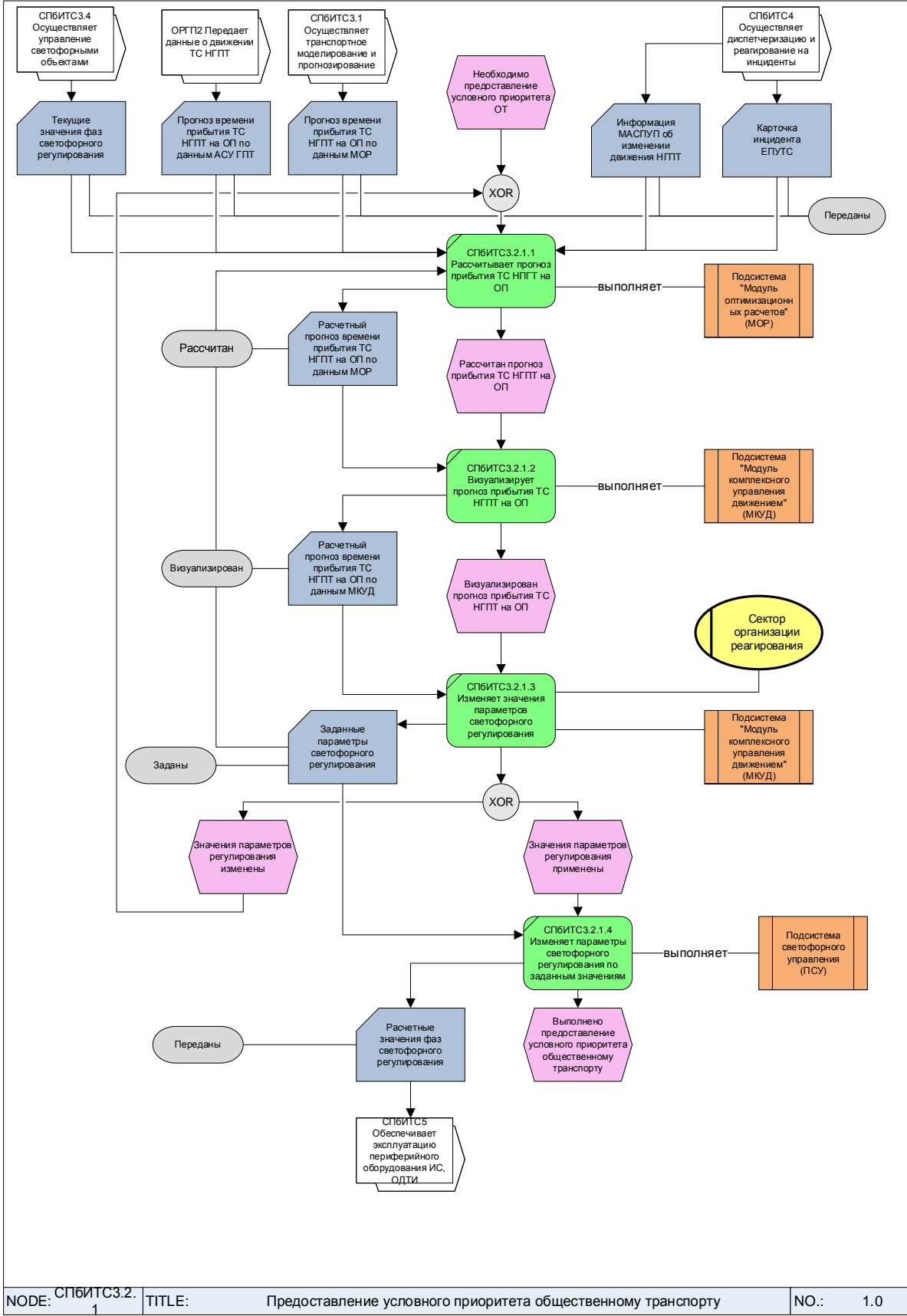


Рисунок 1 - Динамика процесса для сценария предоставления условного приоритета ГПТОП

Результаты и обсуждение

Современные технологии транспортного планирования предполагают использование различных транспортных моделей. Само по себе транспортное планирование имеет в качестве результата комплекс документов, в которых могут быть разработаны мероприятия по внедрению и развитию ИТС. Для разработки мероприятий используются программные комплексы макроскопического и микроскопического моделирования. Среди отечественного ПО с этой целью применяют известный комплекс «Транснет», который долгое время развивался усилиями В. И. Швецова. «Транснет» в рамках стандартной 4-шаговой схемы позволяет выполнять прогнозные и имитационные расчеты транспортного спроса, что является наиболее популярной задачей для транспортного планирования. Очевидно, что развитие ИТС и интеграция в них различных существующих в городах информационных систем, нескольких АСУДД, внешних по отношению к ИТС систем, все это должно находить отражение в документах транспортного планирования. Поэтому кажется совершенно логичным постановку и решение задачи оценки эффективности мероприятий с помощью транспортных моделей.

Поскольку городские транспортные системы относятся к классу больших систем, то математический аппарат для решения таких задач должен учитывать наличие в системе большого числа элементов со стохастическим поведением. В то же время сама система вполне может демонстрировать признаки равновесия и детерминированного поведения, как это характерно для термодинамических и некоторых физических систем (макросистем). В то же время такие системы могут совершать переходы между разными квазиравновесными состояниями, демонстрировать некую динамику и переходные режимы. Наземный городской транспорт обладает целым рядом признаков неравновесных систем, когда, например, в транспортном потоке наблюдаются нелинейные явления и фазовые переходы (более наглядно это наблюдается в самом транспортном потоке, менее очевидно – в логистических потоках, пассажиропотоках и др.). Исходя из этого нами делается акцент на использовании такого теоретического аппарата, который способен отражать такую сложную природу транспортных систем, как способность к бифуркациям, катастрофам (в том числе, в практическом смысле слова). Это является следствием значительного коллективного действия множества входящих в систему элементов. Такой теоретической базой служит нелинейная динамика, уравнения которой могут быть получены из принципов теории макросистем. При этом, естественно, огромную роль играет фактор времени, как в плане масштабного фактора (учет быстро- и медленно изменяющихся величин), так и эволюционного (переходы между различными равновесными состояниями). Для ИТС и их обоснования значительную роль могут играть такие математические модели, которые способны с хорошей точностью рассчитать влияние конкретных функций ИТС.

Теория макросистем разрабатывается, главным образом в трудах Ю. С. Попкова (академик РАН, долгое время работал директором Института системного анализа РАН). В отдельных работах, в частности в [15] и во многих других, методы теории транспортных макросистем становятся единственным фундаментальным аппаратом, который неплохо подходит для расчета равновесных состояний транспортных макросистем.

При динамическом описании могут применяться различные исходные установки, которые конкретизируют понятие «динамики». В идеале, динамическая транспортная модель способна в режиме реального времени получать информацию о текущих потоках транспорта из множества детектируемых точек УДС, автоматически генерировать соответствующие потоки и, таким образом, иметь значительные прогнозные возможности для того, чтобы оценивать состояние очередей и фаз потоков на участках УДС. При этом решение задач может осуществляться как в рамках макроскопической модели, так и микроскопической. В более простом варианте под «динамикой» мы можем понимать учет статистической динамики центров поглощения и генерации транспортных средств, если известны архивные и текущие данные о работе таких центров. Моделирование так же может быть осуществлено как в рамках макро-, так и микромоделей (в принципе, и для мезо-уровня эти идеи являются применимыми).

Рассмотрим ниже именно такой вариант моделирования загрузки УДС с использованием макроскопического подхода. Данные результаты могут быть предназначены для решения заблаговременных задач о прогнозе транспортной ситуации при разных условиях управления УДС в составе Модуля транспортного прогнозирования и моделирования ИТС.

Выше мы отмечали важность учета фактора времени при решении задач транспортного планирования и моделирования. Состояние транспортной системы большого города, мегаполиса непрерывно изменяется, это происходит на всех структурных и пространственно-временных уровнях, в системе могут наблюдаться потоки случайных событий, усложняющих картину функционирования и управление. Для описания состояний транспортной системы могут быть построены некоторые абстрактные пространства на множестве таких переменных как географические координаты, время суток, а в качестве соответствий могут использоваться такие необходимые величины как интенсивность транспортного потока, пассажиропоток, уровень обслуживания дорожного движения, состав используемых транспортных систем и др. Таки образом, транспортное моделирование для расчета эффектов от интеграции ИТС должно априорно использовать модели, содержащие время как аргумент. Такая задача, как определение загрузки УДС и ее изменение вследствие влияния ИТС, должна решаться как минимум в квазидинамической постановке, где траектория системы в указанном выше пространстве – это последовательность точек от одного состояния к другому, достаточно близким к равновесным. Как максимум, транспортные модели должны использовать непрерывное время и учитывать неравновесные эффекты.

Можно сделать допущение, что транспортная система задается графом УДС, имеет описание источников и стоков транспортных средств, а также их количественные характеристики (емкости как функции времени, характер источников как центров массового притяжения и т.д.). Тогда можно полагать, что наличие этих характеристик найдет отражение в модели в виде изменяющихся транспортных потоков и загрузки УДС. В результате транспортная система, содержащая ИТС в своем составе, может быть представлена как комплекс элементов, обеспечивающих:

- топологическую связь между источниками и стоками материальных, транспортных пассажирских потоков, которая выражается в виде детального графа УДС и матрицы связей между объектами данного графа;
- провозные и пропускные характеристики системы;
- закономерности транспортных процессов в виде специальных уравнений транспортного процесса;
- критерии эффективности функционирования системы при учете работы ИТС и/или без нее.

В результате модель транспортной системы с ИТС можно записать в виде (4) для транспортной макросистемы [16]. Решение системы уравнений (4) позволяет получать различные решения, соответствующие разным вариантам интеграции ИТС. При этом влияние той или иной интеллектуальной транспортной системы оказывается посредством изменений, вносимых в содержание и продолжительность операций транспортного процесса участников дорожного движения (см. далее π_e – уравнение транспортного процесса).

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{\Sigma} = \tilde{\Sigma}(t); \\ \rho = \rho(t); \\ q = q(t); \\ \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau; \Delta\tau = \sum_{k=1}^K \Delta\tau_k; \\ E(t) = \left\{ E_1, \dots, E_\alpha, \dots, E_p: E_\alpha = \sum_{e=1}^{e_f} n_e(t) | e \in s_\alpha \right\}; \\ e = 1, \dots, e_f(t); \\ \pi_e = \pi_e(t); \\ \Pi(t) = \{ \pi_1(t), \dots, \pi_\beta(t), \dots, \pi_{e_f}(t) \}; \\ G(t) = g_e \otimes \Pi(t) \leq G^*; \\ H(E^*(\Delta\tau_k)) = - \sum_{n=1}^m E_n \ln \frac{E_n}{a_n} - (G_n + E_n) \ln(G_n + E_n) \rightarrow \max. \end{array} \right. \quad (4)$$

где k – индекс (номер) интервала времени $\Delta\tau_k$, для которого ищется равновесие системы;

K – количество интервалов времени $\Delta\tau_k$ (соответствующих порядку перехода между состояниями равновесия);

$\tilde{\Sigma}$ – множество состояний, соответствующее конкретному множеству элементов транспортной системы;

ρ – матрица транспортных связей;

q – реальные провозные или пропускные возможности транспортной системы;

t – время как непрерывная величина;

$E(t)$ – множество элементов транспортной системы, соответствующее множеству транспортных средств, находящихся в момент времени t на маршруте α или в парковочной зоне;

e – идентификационный (порядковый) номер транспортного средства;

e_f – максимальный номер транспортного средства (фактически равен числу автомобилей в системе);

n_e – логическая переменная, равная 1, если ТС находится в зоне или на маршруте α , и 0 в противоположном случае;

π_e – уравнение транспортного процесса для e -ого транспортного средства;

$\Pi(t)$ – множество, состоящее из отдельных уравнений транспортного процесса;

β – номер транспортного процесса;

$G(t)$ – вектор-функция расхода ресурсов;

g_e – вектор удельных расходов ресурса для отдельного транспортного средства;

H – энтропия (информационная), записанная для поиска равновесия системы;

G^* – вектор-функция ограничений на расход ресурсов;

a_n – априорные вероятности для состояний n транспортных средств;

G_n – емкость каждого состояния n ;

n – номер состояния элементов;

m – полное количество различных состояний.

Модель (4) образует замкнутую систему уравнений (или неравенств, в случае неполного расходования ресурсов) с учетом необходимых вспомогательных соотношений и образует постановку задачи оптимизации транспортного процесса, если в качестве критерия оптимальности выбрать минимум расходования ресурсов (например, время выполнения транспортного процесса, стоимость внедренных технических средств организации дорожного движения и т.п.). Заметим, что уравнение транспортного процесса в (4) определяет долю (степень) выполнения цели (задания) транспортного процесса (или соответствующей опера-

ции транспортного процесса, включая паркование). В теории макросистем утверждается, что модель (4) имеет стационарное состояние, которое может быть найдено и использовано для решения различных прикладных задач (прогноз, имитационное моделирование, оптимизация). В нашем случае речь идет о параметрическом анализе стационарного состояния от тех величин, которые учитывают наличие и работу средств ИТС.

Выводы

Постановка задачи о способах взаимодействия и реагирования интегрированных в составе ЕПУТС ИТС различного уровня является новой в научном плане задачей, которая актуальна для таких комплексов как различные ИТС и АСУДД.

Взаимодействие и реагирование может происходить между ИТС различного уровня, как находящихся на одном, так и с вышестоящими ИТС, например, региональной или федеральной, а также с различными ВИС.

Каждая возникающая в транспортной системе ситуация требует обработки событий, основанной на общей классификации. Каждая подобная ситуация обрабатывается интегрированной ИТС на основе сценарного подхода.

Таким образом, в работе описана постановка указанной задачи о взаимодействии и реагировании различных систем, интегрированных в составе ЕПУТС, по крайней мере, на множестве функций АСУДД, и содержит пример реализации одного сценария. При этом формулировка такой задачи относится к теории принятия решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Енокаев В.К., Солодкий А.И. Формирование рациональных вариантов интеграционной платформы локальных АСУДД // Вестник гражданских инженеров. 2015. №6(53). СПб.: СПбГАСУ. С. 190-194.
2. Енокаев В.К. Методика многокритериальной оценки вариантов интеграции локальных АСУДД // Мир транспорта. Т. 16. №3. С.26-34.
3. Енокаев В.К., Солодкий А.И. Кооперативные ИТС – стратегический путь обеспечения безопасности дорожного движения // Двенадцатая международная конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах»: Сборник трудов 12-ой международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2016, С. 88-96.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. М.; Высшая школа, 1989.
5. Юдицкий С.А., Владиславлев П.Н. Основы предпроектного анализа организационных систем. М.: Финансы и статистика, 2005. 144 с.
6. Техника, технологии, ресурсы: приоритетные направления развития и практические разработки / И.Е. Агуреев, М.Н. Белицкая, Е.В. Бенза, С.М. Бенза, И.Р. Грибуст, В.А. Драбенко, Д.В. Драбенко, В.И. Лысак, Н.Э. Нефедьева [Электронный ресурс]. URL: http://scipro.ru/conf/monograph_engineering.pdf.
7. Кириллов К.В. Обзор методов сценарного подхода, применяющихся при проектировании информационных систем // Молодой ученый. 2014. №21(80).
8. Kaplan S., Haimes Y.Y., Garric B.J. Fitting Hierarchical Holographic Modeling into the theory of Scenario Structuring and a resulting Refinement to the Quantitative Definition of Risk, 2001.
9. Kaplan S. and others. New tools for failure and Risk analysis. An introduction to Anticipatory Failure Determination (AFD) and the theory of Scenario Structuring, 1999.
10. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем. В 2-х кн. / Под ред. В. Л. Шульца. М.: Наука, 2012. Кн.1. 304 с.; кн. 2. 358 с.
11. Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. М.: СИНТЕГ, 2004.
12. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М.: Наука, 1986. 494 с.
13. Асадуллаев Р.Г. Формально-логические средства организации управления. Белгород: НИУ «БелГУ», 2016. 136 с.
14. Горлушкина Н.Н. Системный анализ и моделирование информационных процессов и систем. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 120 с.
15. Попков Ю.С. Теория макросистем. М.: УРСС, 1999. 320 с.
16. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Обоснование выбора теоретического аппарата для описания транспортного поведения жителей города (мегаполиса) // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18, № 6. С. 746–758.

Енокаев Валентин Кемильевич

Комитет по транспорту Правительства Санкт-Петербурга

Адрес: 191024, Россия, г. Санкт-Петербург, Исполкомская ул., д. 16,
Председатель Комитета
E-mail: venokaev@gmail.com

V.K. ENOKAYEV

APPLICATION OF THE SCENARIO METHOD IN THE INTEGRATION OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Abstract. A review of modern concepts of the scenario method in various fields has been carried out, including general systems analysis, information systems design, management of socio-technical systems, programming theory, etc. The relevance of situational management in ITS is substantiated and a formalized description of the process of integrating ITS of various levels is given using the concept of "scenario management", generalization and clarification of the concept of «scenario method» for application in the processes of integration of intelligent transport systems. The achievability of the system effect and growth of efficiency indicators for the managed transport system of the region when integrating various ITS using the scenario method is shown.

Keywords: intelligent transport system, integration platform, script method

BIBLIOGRAPHY

1. Enokaev V.K., Solodkiy A.I. Formirovanie ratsional'nykh variantov integratsionnoy platformy lokal'nykh ASUDD // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2015. №6(53). SPb.: SPbGASU. S. 190-194.
2. Enokaev V.K. Metodika mnogokriterial'noy otsenki variantov integratsii lokal'nykh ASUDD // Mir transporta. T. 16. №3. S.26-34.
3. Enokaev V.K., Solodkiy A.I. Kooperativnye ITS - strategicheskiy put' obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Dvenadtsataya mezhdunarodnaya konferentsiya "Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh": Sbornik trudov 12-oy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. SPb.: SPbGASU, 2016, S. 88-96.
4. Peregudov F.I., Tarasenko F.P. Vvedenie v sistemnyy analiz. M.: Vysshaya shkola, 1989.
5. YUditskiy S.A., Vladislavlev P.N. Osnovy predproektnogo analiza organizatsionnykh sistem. M.: Finansy i statistika, 2005. 144 s.
6. Tekhnika, tekhnologii, resursy: prioritetnye napravleniya razvitiya i prakticheskie razrabotki / I.E. Agureev, M.N. Belitskaya, E.V. Benza, S.M. Benza, I.R. Gribust, V.A. Drabenko, D.V. Drabenko, V.I. Lysak, N.E. Nefed'eva [Elektronnyy resurs]. URL: <http://scipro.ru/conf/monographengineering.pdf>.
7. Kirillov K.V. Obzor metodov stsennarnogo podkhoda, primenyayushchikhsya pri proektirovanii informatsionnykh sistem // Molodoy uchenyy. 2014. №21(80).
8. Kaplan S., Haimes Y.Y., Garric B.J. Fitting Hierarchical Holographic Modeling into the theory of Scenario Structuring and a resulting Refinement to the Quantitative Definition of Risk, 2001.
9. Kaplan S. and others. New tools for failure and Risk analysis. An introduction to Anticipatory Failure Determination (AFD) and the theory of Scenario Structuring, 1999.
10. Modeli i metody analiza i sinteza stsennariy razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem. V 2-kh kn. / Pod red. V. L. Shul'tsa. M.: Nauka, 2012. Kn.1. 304 s.; kn. 2. 358 s.
11. Kul'ba V.V., Kononov D.A., Kosyachenko S.A., Shubin A.N. Metody formirovaniya stsennariy razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem. M.: SINTEG, 2004.
12. Roberts F.S. Diskretnye matematicheskie modeli s prilozheniyami k sotsial'nym, biologicheskim i ekologicheskim zadacham. M.: Nauka, 1986. 494 s.
13. Asadullaev R.G. Formal'no-logicheskie sredstva organizatsii upravleniya. Belgorod: NIU "BelGU", 2016. 136 s.
14. Gorlushkina N.N. Sistemnyy analiz i modelirovanie informatsionnykh protsessov i sistem. SPb.: Universitet ITMO, 2016. 120 s.
15. Popkov YU.S. Teoriya makrosistem. M.: URSS, 1999. 320 s.
16. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Obosnovanie vybora teoreticheskogo apparata dlya opisaniya transportnogo povedeniya zhitel'ev goroda (megapolisa) // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2021. T. 18, № 6. S. 746-758.

Enokayev Valentin Kemiljevich

Transport Committee of the Government of St. Petersburg
Address: 191024, Russia, St. Petersburg, Ispolkomskaya st., 16
Chairman of the Committee
E-mail: venokaev@gmail.com

УДК 004.023

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-118-126

В.И. САРБАЕВ, С. ДЖОВАНИС, А.С. ГРИШИН

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА АВТОЗАПЧАСТИ В ЦЕНТРАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация. *Результаты:* предложена комплексная методология прогнозирования спроса на автозапчасти, основанная на классификации спроса; расчете ADI и CV2; выборе методов прогнозирования в зависимости от типа спроса; использовании дополнительных методов.

Методы исследования включают анализ литературных источников; сбор и анализ данных; классификацию типов спроса; выбор методов прогнозирования в зависимости от типа спроса.

Предложенная методология позволяет повысить точность прогнозирования спроса на автозапчасти, что, в свою очередь, может привести к оптимизации управления запасами и повышению уровня обслуживания клиентов в СТО.

Область применения данной статьи включает руководителей СТО, менеджеров по закупкам запчастей, аналитиков данных, научных исследований.

Ключевые слова: *прогнозирование спроса, автозапчасти, СТО, классификация спроса, ADI, CV2, машинное обучение*

Введение

Отрасль автозапчастей характеризуется высокой сложностью и масштабностью, с огромным количеством деталей доступных только в Европе. Эта сложность связана с большим количеством деталей и необходимостью обеспечения совместимости каждой отдельной детали с конкретным автомобилем.

Согласно данным Future Market Insights (FMI), прогнозируется, что к 2031 году доля мирового рынка услуг по ремонту и техническому обслуживанию автомобилей вырастет на 3,2 % в среднем к 2031 году. Этот рост связан с увеличением спроса на подержанные автомобили со стороны потребителей. В период с 2021 по 2031 год ожидается среднегодовой темп роста рынка на уровне 5,7 %. США занимают наибольшую долю на мировом рынке услуг по ремонту и техническому обслуживанию, составляющую более 85 % всех продаж в Северной Америке. Великобритания продолжит оставаться главным рынком в Европе, с ожидаемым ростом продаж более 3,5 % в 2024 году по сравнению с 2023 годом. Германия будет иметь наибольшие объемы продаж в Европе, а во Франции ожидается растущий спрос. Увеличение производства легковых автомобилей и автозапчастей способствует росту продаж в Китае [18].

Наличие многочисленных независимых поставщиков автосервисов и технического обслуживания будет стимулировать рост рынка данных услуг. Повышающийся уровень осведомленности пользователей автомобильных услуг, конкурентоспособная стоимость и качество услуги, а также рост автопарка по всему миру будут служить дополнительными факторами, способствующими увеличению спроса на ремонт и обслуживание автомобилей [17].

Прогнозирование спроса на миллионы компонентов в этой отрасли представляет значительные трудности. Он зависит от потребности, которая в основном формируется самими автомобилями, а не предпочтениями клиентов. Традиционные методы прогнозирования, которые сосредоточены на отдельных деталях, обычно не точны в этом контексте. Спрос на деталь зависит от таких факторов, как необходимость замены и совместимость с автомобилем.

Эффективное управление запасами является важным аспектом компании для поддержания более высокого уровня обслуживания клиентов. От этого зависит количество необходимых в наличие запасных частей. В связи с нерегулируемым спросом на различные группы товаров категоризация типов спроса играет важную роль в прогнозировании спроса на различные продукты и разработке политики для достижения желаемого уровня обслуживания в соответствии с приоритетами компании.

Цель статьи - разработка методологических основ прогнозирования спроса на автозапчасти в центрах технического обслуживания.

Объектом исследования является спрос на автозапчасти в центрах технического обслуживания.

Предметом исследования выступают закономерности формирования спроса на автомобильные запасные части в центрах технического обслуживания.

Материал и методы

Для данного исследования были использованы следующие материалы и методы:

1. Сбор и анализ данных. Был проведен литературный обзор и анализ научных исследований, связанных с управлением запасами автозапчастей. В качестве основных документов использовались работы Туррини, Мейснера [14], Мора, Нагара, Бхардваджа [10], Зоргдрагера, Верхагена и Каррана [15], Гоббара и Френда [4], Синтетоса и других авторов.

2. Классификация типов спроса. Были использованы показатели ADI (среднее абсолютное отклонение) и CV2 (вариация квадрата коэффициента вариации) для классификации типов спроса на запасные части. ADI использовался для измерения времени между нулевым и ненулевым периодом спроса, а CV2 - для определения различий в частоте и объеме спроса.

Теория

Рынок автозапчастей – отрасль рынка, отличающаяся высокой сложностью и масштабностью. В ней представлено более миллиона номенклатуры различных деталей, доступных только в Европе. Сложность этой отрасли обусловлена большим количеством деталей и необходимостью обеспечения их совместимости. Компании, оперирующие в этой сфере, должны учитывать огромное количество взаимосвязей и зависимостей между каждым автомобилем и его деталями.

Планирование производства в автомобильной промышленности требует точных решений для удовлетворения спроса клиентов. Неопределенный характер спроса на запасные части делает эту задачу особенно важной для компаний-производителей. В исследовании [9] рассмотрены три метода прогнозирования спроса: однократное экспоненциальное сглаживание, метод Кростона и искусственные нейронные сети.

Запасные части представляют собой сменные компоненты, используемые для замены поврежденных или устаревших деталей в продуктах. Исследования Туррини и Мейснера [14] подчеркивают критическую важность запасных частей для обеспечения бесперебойной работы оборудования и операций. Запасы запчастей отличаются от других типов производственных запасов, так как спрос на них нерегулируемый или спорадический [1]. Автомобильные запчасти (ветровые стекла, шины, интерьерные компоненты, двигатели и др.), играют важную роль в поддержании функционирования вторичного рынка автомобильной промышленности [6]. Кроме того, повышается спрос на запасные части вследствие различных факторов, таких, как политика компании по замене или ремонту существующих деталей, частота несчастных случаев и использование запасных частей, проблема устаревания, а также изменение доли рынка существующего продукта. Все эти факторы оказывают влияние на спрос на запасные части.

Для принятия разумных решений по управлению запасами, важно проанализировать типы спроса (прерывистый, неустойчивый, плавный, комковатый). В исследованиях Мора, Нагара и Бхардваджа [10] и Зоргдрагера, Верхагена и Каррана [15] была проведена классификация спроса на основе временных интервалов и количества спроса, требуемого в каждый период. Средний интервал между запросами (ADI) используется для измерения времени между нулевым и ненулевым периодом спроса. Анализ ADI может дать представление о ти-

пе спроса, учитывая периоды нулевого спроса между положительными периодами. Зоргдрагер, Верхаген и Карран [15] использовали определенный метод для расчета ADI.

$$ADI = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (1)$$

где t – время;

n – количество периодов.

Гоббар и Френд [4] и Синтетос [13] анализируют различия в частоте и объеме спроса для классификации типов спроса. Связанными показателями являются средний внутренний спрос (ADI) и коэффициент вариации (CV^2), которые определяются с помощью уравнений (1)-(3), где t – время, n – количество периодов, ε_a – средний спрос и ε_i – фактический спрос.

$$CV^2 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_a)^2}}{\varepsilon_a}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_a = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}{n}. \quad (3)$$

В научных исследованиях, чтобы определить различные модели спроса, широко используются значения ADI (среднее абсолютное отклонение) и CV^2 (вариация квадрата коэффициента вариации). Номенклатура может быть различной, но в литературе часто используются следующие термины: плавный спрос, который характеризуется регулярным изменением количества; прерывистый спрос, который проявляет чрезвычайную спорадичность без явной изменчивости количества; неустойчивый спрос, который характеризуется большими колебаниями количества, но имеет постоянное распределение во времени; и непостоянный спрос, который имеет большое количество периодов без спроса и большие колебания количества [4].

Исследование, описанное в статье Yu [16], представляет собой значимый вклад в область управления запасами запасных частей для технического обслуживания в автомобильном магазине 4S. Оно выявляет важность учета погодных условий при прогнозировании спроса на запасные части и предлагает новый метод, который включает анализ погодных данных для улучшения точности прогнозирования.

Результаты и обсуждение

Спрос на внеплановые материалы и запасные части, вызванный потребностью во внеплановом ремонте, характеризуется значительными колебаниями в количестве. Поэтому обычно классификация спроса на такие материалы основана на периодическом или несвязанном во времени характере. В различных исследованиях были предложены методы прогнозирования спроса для периодических и однократных случаев применения, особенно в виде методов временных рядов, учитывающих исторические закономерности, чтобы составить прогнозы. Примеры методов анализа временных рядов включают однократное экспоненциальное сглаживание (SES), метод Кростона (CR) и его вариации, такие как приближение Синтетоса-Бойлана (SBA) и вариация Теунтера-Синтетоса-Бабаи (TSB). За последние годы нейронные сети (NN) стали широко применяемыми для прогнозирования однократного спроса, например, работы Р.С. Гутьерреса и соавторов [5] и Н. Курентзеса [7]. Однако оба эти метода прогнозирования (методы временных рядов и NN) требуют значительного объема исторических данных для инициализации, калибровки или обучения применяемых методов.

Прогнозирование спроса на миллионы компонентов в этой отрасли представляет значительную проблему. Спрос в основном формируется автомобилями, а не предпочтениями клиентов. Традиционные методы прогнозирования, основанные на временных рядах, не дают

точных прогнозов спроса на автомобильные запчасти. Спрос на них зависит от необходимости замены и совместимости с конкретным автомобилем.

Классификация спроса представляет собой важный этап в управлении поставками автомобильных запчастей. Для эффективного прогнозирования и планирования стоит использовать методы классификации, такие, как расчет среднего интервала спроса (ADI) и коэффициента вариации (CV^2) для каждого артикула. ADI позволяет определить равномерный или неравномерный спрос, что существенно влияет на его ожидаемую величину. CV^2 , с другой стороны, позволяет оценить степень изменчивости спроса и, следовательно, его стабильность. Помимо этого, классификация спроса проводится также по категориям. Например, спрос может быть отнесен к плавному, если он является стабильным и предсказуемым. Спрос является прерывистым, если характеризуется случайностью и непредсказуемостью. Кроме того, спрос может подвергаться сезонным колебаниям, что ведет к спадам в различные периоды времени.

Аналитическая иерархическая процедура (АИП) является подметодом в рамках многокритериальной процедуры принятия решений. АИП – один из наиболее популярных и хорошо структурированных методов, которые занимаются анализом различных критериев и проводят попарное сравнение для определения наилучшего решения или альтернативы в сложных задачах. Многокритериальные процедуры принятия решений разбивают сложную задачу на более простые компоненты, что позволяет определить наилучшую альтернативу [8]. Данный метод широко применяется в различных областях, включая энергетику, экономику, бизнес, производство, менеджмент качества, управление цепочками поставок, строительство и смежные отрасли. Аналитическая иерархическая процедура является одним из лучших инструментов для принятия решений в сложных ситуациях, когда различные альтернативы имеют разные характеристики и важность для достижения желаемого результата. Она использует математические вычисления и взвешивание критериев для определения наилучшей альтернативы. Процесс применения метода АИП включает разделение цели или проблемы на подразделы в виде критериев и альтернатив. Затем каждой альтернативе присваиваются веса или оценки с целью сравнения их друг с другом и определения наилучшей.

Средняя абсолютная процентная ошибка или MAPE - один из наиболее распространенных инструментов для измерения точности прогнозирования и может быть рассчитана с использованием следующего уравнения. Согласно исследованию Бадулеску, Хамери и Шейхроу [3], MAPE является масштабно независимым, измеряет точность на основе процентов и позволяет сравнивать данные с другими популярными инструментами измерения точности прогнозирования, включая среднеквадратичную (MSE), среднюю абсолютную ошибку (MAE) и т. д. В некоторых исследованиях, например, в работе [3], только MAPE использовалась для анализа методов прогнозирования из-за ее преимущественных характеристик [3].

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|, \quad (4)$$

где n = количество итераций суммирования;

A_t = фактическое значение за период t ;

F_t = прогнозируемое значение за период t .

Ромейндерс, Теунтер и ван Яарсвелд [10] рассмотрели метод наивного (Naïve) и нулевого прогноза (ZF), в котором ZF всегда предсказывает ноль для следующего периода. Авторы обратили внимание на его ограничение при использовании для контроля запасов. Кроме того, их результаты для быстро изменяющихся объектов показывают отрицательную среднюю ошибку, что увеличивает погрешность метода. Авторы рассматривают наивный прогноз как частный случай скользящего среднего и экспоненциального сглаживания.

Метод наивного прогнозирования использует спрос за предыдущие месяцы или периоды времени, предполагая тенденцию его сохранения и в будущем. Этот метод является простым в использовании, и в некоторых случаях дает точные результаты по сравнению со сложными методами. Кроме того, он объединяет характеристики экспоненциального сгла-

живания и скользящего среднего. Однако, с течением времени точность прогноза методом наивного прогнозирования может снижаться, и делать его менее эффективным для моделей со сложным и изменяющимся спросом. Еще одним ограничением этого метода является его применимость только к устойчивым моделям спроса [8].

Уравнение, используемое при прогнозе с использованием метода наивного прогнозирования Мора, Нагара и Бхардваджа [8], выглядит следующим образом:

$$F_{t+1} = F_t, \quad (5)$$

где F_{t+1} - прогноз на следующий период

F_t - прогноз на текущий период.

Экспоненциальное сглаживание (ES) является распространенным методом прогнозирования, который использует данные об изменениях спроса для генерации точных прогнозов. Однако, ES имеет ограничения, особенно при прогнозировании неуправляемого, прерывистого или единовременного спроса. Это связано с тем, что ES пытается сгладить данные и учитывать изменение спроса только в положительных периодах, что может приводить к неточным результатам. Ограниченный набор данных временных рядов также может привести к неточностям в прогнозах. Из-за сглаживания данных, прогнозы становятся менее чувствительными к краткосрочным изменениям в спросе.

Модель ES представлена уравнением:

$$F_{t+1} = ay_t + (1 - a)F_t, \quad (6)$$

и

$$0 < a \leq 1$$

где F_{t+1} - прогноз для следующего периода;

a - коэффициент сглаживания (Альфа);

F_t - прогнозируемое значение для текущего периода;

y_t - фактическое значение для текущего периода

Модель Кростона является одним из известных методов прогнозирования и управления запасами для товаров с периодическим и низким спросом. Данная модель прогнозирования превосходит простое экспоненциальное сглаживание, используемое для прогноза периодического спроса с точки зрения точности [3]. По сравнению с другими методами [10] модель Кростона при прогнозировании периодического спроса позволяет обрабатывать отрезок с положительным спросом отдельно [11].

Исследователи Бабаи и др. [2] критикуют метод Кростона, так как он не обновляет размер и интервал в периоды без спроса, что может приводить к неточным результатам. Более того, модель Кростона показывает меньшую дисперсию, чем метод экспоненциального сглаживания. Управление запасами автозапчастей обусловлено необходимостью предоставления высокого уровня обслуживания, поэтому необходимо измерять дисперсию спроса для определения безопасного размера запасов с учетом времени выполнения заказа [11]. Авторы также отмечают, что из-за отсутствия учета периодов без спроса, метод Кростона обычно приводит к высоким уровням запасов, а его формула для расчета дисперсии вызывает снижение уровня обслуживания [11]. Более того, Ромейндерс, Тюнтер и ван Яарсвелд [10], также подчеркивают, что модель Кростона не учитывает проблему устаревания запасов и приводит к неточным результатам.

Определение методов прогнозирования спроса является критически важным для эффективного управления поставками автомобильных запчастей. Сравнительный анализ различных методов прогнозирования приведен в таблице.

В зависимости от типа спроса, применяются различные методы прогнозирования. Для плавного спроса, характеризующегося стабильностью и предсказуемостью, рекомендуется использовать методы анализа временных рядов, например, ARIMA или экспоненциальное сглаживание. Для прерывистого спроса, когда спрос проявляется в виде непредсказуемых периодических событий, эффективными методами являются метод Кростона/Теалда или нейронные сети. Для неустойчивого/непостоянного спроса, изменение которого связано с

сезонными колебаниями, трендами и экстремальными значениями, целесообразно использовать модели, учитывающие эти факторы.

Методы прогнозирования спроса на автозапчасти представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы прогнозирования спроса на автозапчасти

Метод	Описание	Преимущества	Ограничения
Анализ исторических данных	Продажи Ремонты ДТП	Выявление паттернов и трендов Прогнозирование на основе прошлых периодов	Ограниченная точность для нестабильных рынков Не учитывает новые факторы
Машинное обучение	Моделирование спроса Алгоритмы предсказания	Учет дополнительных переменных Повышение точности прогнозов	Требует больших объемов данных Сложность в настройке и интерпретации
Сотрудничество с автопроизводителями	Доступ к информации Прогнозы производства Обновления моделей Планы на будущее	Прогнозирование спроса на основе планов автопроизводителей	Доступ к информации может быть ограничен Не учитывает другие факторы, влияющие на спрос
Мониторинг рынка	Тренды Новые технологии Изменения в законодательстве	Адаптация прогнозов под внешние факторы	Сложность в сборе и анализе данных Неопределенность будущих изменений

Для более точного прогнозирования спроса на автомобильные запчасти рекомендуется использовать дополнительные методы.

Анализ исторических данных о продажах, ремонтах и ДТП может быть полезным для выявления паттернов и трендов в будущем спросе на основе прошлых периодов.

Использование машинного обучения и алгоритмов предсказания на основе данных о модели автомобиля, пробеге, регионе и других факторах позволяет учесть дополнительные переменные, которые могут влиять на спрос на запчасти.

Сотрудничество с автопроизводителями может дать доступ к информации о прогнозах производства, обновлениях моделей и планах на будущее. Это помогает прогнозировать спрос на запчасти, основываясь на планах автопроизводителей и изменениях в их модельных рядах.

Мониторинг рынка, отслеживание трендов, новых технологий и изменений в законодательстве позволяет адаптировать прогнозы спроса под внешние факторы, которые могут повлиять на автомобильную отрасль и спрос на запчасти.

Выводы

В работе представлена методология прогнозирования спроса на автозапчасти в центрах технического обслуживания. В отличие от традиционных методов, предлагаемая методология учитывает особенности спроса на автозапчасти и классифицирует его по типам.

Для прогнозирования спроса используется расчет ADI (среднего интервала между запросами) и CV^2 (коэффициента вариации), а также дополнительные методы анализа исторических данных, машинного обучения, сотрудничества с автопроизводителями и мониторинга рынка.

Преимущества данной методологии являются увеличение точности прогнозирования, оптимизация управления запасами и повышение уровня обслуживания клиентов. Предложенная методология представляет собой ценный вклад в изучение проблемы прогнозирования спроса на автозапчасти, но требует дополнительной работы по описанию конкретных методов машинного обучения, методов мониторинга рынка и представлению примеров применения методологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Armenzoni M., Montanari R., Vignali G., Bottani E., Ferretti G., Solari F., Rinaldi M. An integrated approach for demand forecasting and inventory management optimisation of spare parts // *International Journal of Simulation and Process Modelling*. 2015. №10(3). P. 223–240. doi:<https://doi.org/10.1504/ijspm.2015.071375>.
2. Babai M.Z., Dallery Y., Boubaker S., Kalai R. A new method to forecast intermittent demand in the presence of inventory obsolescence // *International Journal of Production Economics*. 2019. №209. P. 30-41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.026>.
3. Badulescu Y., Hameri A.-P., Cheikhrouhou N. Evaluating demand forecasting models using multi-criteria decision-making approach // *Journal of Advances in Management Research*. 2021. №18(5). P. 661-683. doi:<https://doi.org/10.1108/jamr-05-2020-0080>.
4. Ghobbar A.A., Friend C.H. Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: a predictive model // *Computers & Operations Research*. 2003. №30. P. 2097-2114. DOI:10.1016/S0305-0548(02)00125-9.
5. Gutierrez R.S., Solis A.O., Mukhopadhyay S. Lumpy demand forecasting using neural networks // *International Journal of Production Economics*. 2008. №111. P. 409-420. DOI:10.1109/PICMET.2001.951931.
6. Huynh N. Demand forecasting of spare parts – case study from automotive industry // *Master's Thesis*. 2019. P. 1-73.
7. Kourentzes N. Intermittent demand forecasts with neural networks // *International Journal of Production Economics*. 2013. №143. P. 198-206.
8. Mardani A., Jusoh A., MD Nor K., Khalifah Z., Zakwan N., Valipour A. Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014 // *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 2015. №28(1). P.516-571. doi:<https://doi.org/10.1080/1331677x.2015.1075139>.
9. Maulida Hakim I., Dwantara H. Forecasting the demand for spare parts in the automotive industry using an artificial neural network (ANN) // *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. №7(3.7). P. 444-447.
10. Mor R.S., Nagar J., Bhardwaj A. A comparative study of forecasting methods for sporadic demand in an auto service station // *International Journal of Business Forecasting and Marketing Intelligence*. 2019. №5(1). P. 56-70. doi: <https://doi.org/10.1504/ijbfmi.2019.099009>.
11. Romeijnnders W., Teunter R. van Jaarsveld W. A two-step method for forecasting spare parts demand using information on component repairs // *European Journal of Operational Research*. 2012. №220(2). P. 386-393. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.01.019>.
12. Sani B., Kingsman B.G. Selecting the best periodic inventory control and demand forecasting methods for low demand items // *Journal of the Operational Research Society*. 1997. №48(7). P. 700-713. doi:<https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600418>.
13. Syntetos A.A. A note on managing lumpy demand for aircraft spare parts // *Journal of Air Transport Management*. 2007. №13. P. 166-167. DOI:10.1016/j.jairtraman.2007.01.002.
14. Turrini L., Meissner J. Spare parts inventory management: New evidence from distribution fitting // *European Journal of Operational Research*. 2019. №273. P. 118-130. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.09.039>.
15. Zorgdrager M., Verhagen W.J.C., Curran R. An evaluation of forecasting methods for aircraft non-routine maintenance material demand [Электронный ресурс] // *International Journal of Agile Systems and Management*. 2014. №7(3/4). P. 383-402. URL: doi:<https://doi.org/10.1504/ijasm.2014.065354>.
16. Liu Yu., Zhang C., Fan Z.-P., You T.-H., Wang L.H. Forecasting the demand for spare parts for maintenance of the 4S automotive workshop based on weather data // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2019. Vol. 27. №5. P. 943-955. doi: 10.1109/TFUZZ.2018.2831637.
17. Обзор рынка услуг по ремонту и техническому обслуживанию автомобилей (2023-2033 гг.) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/automotive-repair-and-maintenance-services-market-102017>.
18. Рынок услуг по ремонту и техническому обслуживанию автомобилей достигнет 1,850 миллиардов долларов США к 2033 году: растущий спрос на обслуживание автомобилей стимулирует рост рынка [Электронный ресурс]. URL: <https://marketresearchblog.org/2023/07/automotive-repair-maintenance-services-market-to-reach-us-1850-billion-by-the-year-2033-rising-demand-for-vehicle-servicing-and-repairs-drives-market-growth/>.
19. Сарбаев В.И., Сарбаев В.И., Джованис С., Гусев А.Г. Учет влияния качества и стоимости запасных частей в управлении запасами автосервиса // *Мир транспорта и технологических машин*. №3-5 (78). 2022. С. 120-127.
20. Сарбаев В.И., Джованис С., Гришин А.С. Системы управления запасами в автосервисных центрах: анализ принципов и бизнес-процессов // *Транспортное дело России*. №6. 2024. С. 163-170.

Сарбаев Владимир Иванович

Московский политехнический университет

Адрес: 107023, Россия, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38

Д.т.н.

E-mail: Visarbaev@gmail.com

Симос Джованис

Московский политехнический университет

Адрес: 107023, Россия, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38

Аспирант

E-mail: songmanos@yahoo.com

Гришин Александр Сергеевич

ООО СП «БИЗНЕС КАР»

Адрес: 113452, Россия, г. Москва, Балаклавский проспект, 26

К.т.н.

E-mail: agrishin@toyotabc.ru

V.I. SARBAEV, S. TZIOVANNIS, A.S. GRISHIN

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF FORECASTING DEMAND FOR AUTO PARTS IN CAR MAINTENANCE CENTERS

Abstract. *A comprehensive methodology for forecasting demand for auto parts is proposed, based on the classification of demand; calculation of ADI and CV2; selection of forecasting methods depending on the type of demand; use of additional methods.*

Research methods include analysis of literary sources; data collection and analysis; classification of demand types; selection of forecasting methods depending on the type of demand.

The proposed methodology makes it possible to increase the accuracy of forecasting demand for auto parts, which, in turn, can lead to optimization of inventory management and increase the level of customer service in service stations.

The scope of this article includes service station managers, spare parts purchasing managers, data analysts, and scientific research.

Keywords: *demand forecasting, auto parts, service stations, demand classification, ADI, CV2, machine learning*

BIBLIOGRAPHY

1. Armenzoni M., Montanari R., Vignali G., Bottani E., Ferretti G., Solari F., Rinaldi M. An integrated approach for demand forecasting and inventory management optimisation of spare parts // International Journal of Simulation and Process Modelling. 2015. №10(3). P. 223–240. doi:<https://doi.org/10.1504/ijspm.2015.071375>.
2. Babai M.Z., Dallery Y., Boubaker S., Kalai R. A new method to forecast intermittent demand in the presence of inventory obsolescence // International Journal of Production Economics. 2019. №209. P. 30-41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.026>.
3. Badulescu Y., Hameri A.-P., Cheikhrouhou N. Evaluating demand forecasting models using multicriteria decision-making approach // Journal of Advances in Management Research. 2021. №18(5). P. 661-683. doi:<https://doi.org/10.1108/jamr-05-2020-0080>.
4. Ghobbar A.A., Friend C.H. Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: a predictive model // Computers & Operations Research. 2003. №30. P. 2097-2114. DOI:10.1016/S0305-0548(02)00125-9.
5. Gutierrez R.S., Solis A.O., Mukhopadhyay S. Lumpy demand forecasting using neural networks // International Journal of Production Economics. 2008. №111. P. 409-420. DOI:10.1109/PICMET.2001.951931.
6. Huynh N. Demand forecasting of spare parts - case study from automotive industry // Master's Thesis. 2019. P. 1-73.
7. Kourentzes N. Intermittent demand forecasts with neural networks // International Journal of Production Economics. 2013. №143. P. 198-206.
8. Mardani A., Jusoh A., MD Nor K., Khalifah Z., Zakwan N., Valipour A. Multiple criteria decision-making techniques and their applications - a review of the literature from 2000 to 2014 // Economic Research-Ekonomika Istrat?ivanja. 2015. №28(1). P.516-571. doi:<https://doi.org/10.1080/1331677x.2015.1075139>.
9. Maulida Hakim I., Dwantara H. Forecasting the demand for spare parts in the automotive industry using an artificial neural network (ANN) // International Journal of Engineering and Technology. 2018. №7(3.7). P. 444-447.

10. Mor R.S., Nagar J., Bhardwaj A. A comparative study of forecasting methods for sporadic demand in an auto service station // International Journal of Business Forecasting and Marketing Intelligence. 2019. №5(1). P. 56-70. doi: <https://doi.org/10.1504/ijbfmi.2019.099009>.
11. Romeijnders W., Teunter R. van Jaarsveld W. A two-step method for forecasting spare parts demand using information on component repairs // European Journal of Operational Research. 2012. №220(2). P. 386-393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.01.019>.
12. Sani B., Kingsman B.G. Selecting the best periodic inventory control and demand forecasting methods for low demand items // Journal of the Operational Research Society. 1997. №48(7). P. 700-713. doi: <https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600418>.
13. Syntetos A.A. A note on managing lumpy demand for aircraft spare parts // Journal of Air Transport Management. 2007. №13. P. 166-167. DOI:10.1016/j.jairtraman.2007.01.002.
14. Turrini L., Meissner J. Spare parts inventory management: New evidence from distribution fitting // European Journal of Operational Research. 2019. №273. P. 118-130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.09.039>.
15. Zorgdrager M., Verhagen W.J.C., Curran R. An evaluation of forecasting methods for aircraft nonroutine maintenance material demand [Elektronnyy resurs] / International Journal of Agile Systems and Management. 2014. №7(3/4). P. 383-402. URL: doi: <https://doi.org/10.1504/ijasm.2014.065354>.
16. Liu Yu., Zhang C., Fan Z.-P., You T.-H., Wang L.H. Forecasting the demand for spare parts for maintenance of the 4S automotive workshop based on weather data // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2019. Vol. 27. №5. P. 943-955. doi: 10.1109/TFUZZ.2018.2831637.
17. Obzor rynka uslug po remontu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu avtomobiley (2023-2033 gg.) [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/automotive-repair-and-maintenance-services-market-102017>.
18. Rynok uslug po remontu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu avtomobiley dostignet 1,850 milliardov dollarov SSHA k 2033 godu: rastushchiy spros na obsluzhivanie avtomobiley stimuliruet rost rynka [Elektronnyy resurs]. URL: <https://marketresearchblog.org/2023/07/automotive-repair-maintenance-services-market-to-reach-us-1850-billion-by-the-year-2033-rising-demand-for-vehicle-servicing-and-repairs-drives-market-growth/>.
19. Sarbaev V.I., Sarbaev V.I., Dzhovanis S., Gusev A.G. Uchet vliyaniya kachestva i stoimosti zapasnykh chastey v upravlenii zapasami avtoservisa // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. №3-5 (78). 2022. S. 120-127.
20. Sarbaev V.I., Dzhovanis S., Grishin A.S. Sistemy upravleniya zapasami v avtoservisnykh tsentrakh: analiz printsipov i biznes-protsessov // Transportnoe delo Rossii. №6. 2024. S. 163-170.

Sarbaev Vladimir Ivanovich

Moscow Polytechnic University

Address: 107023, Russia, Moscow, B. Semenovskaya str., 38

Doctor of Technical Sciences

E-mail: visarbaev@gmail.com

Simos Tziovannis

Moscow Polytechnic University

Address: 107023, Russia, Moscow, B. Semenovskaya str., 38

Postgraduate student

E-mail: singmanos@yahoo.com

Grishin Aleksandr Sergeevich

JV "BUSINESS CAR" LLC

Candidate of Technical Sciences

Address: 113452, Russia, Moscow, Balaklavsky Prospekt, 26

E-mail: agrishin@toyotabc.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;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

Введение

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

Материал и методы

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылаетесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

Теория / расчет

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

Результаты

Результаты должны быть четкими и краткими.

Обсуждение

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

Выводы

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - применять произвольные словообразования;
 - применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и сверху - 2 см.

Обязательные элементы:

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

- **аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

- **ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

- **список литературы** должен содержать 15-20 источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строки, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:
Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)
Учреждение или организация
Адрес
Ученая степень, ученое звание, должность
Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Пример оформления формулы в тексте

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 (1 + \frac{1}{2\alpha}) / d, \quad (1)$$

где $\alpha = 1 + 2a/b$ - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$ - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате *.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

Рисунок 1 - Текст подписи

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

Таблицы должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
Тел.: (4862) 75-13-18
www.oreluniver.ru.
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77
Тел.+7 905 856 6556
www.oreluniver.ru.
E-mail: srmostu@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 27.11.2024 г.
Дата выхода в свет 16.12.2024 г.
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 7,4
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 275

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95