

ISSN 2073-7432

МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3-2 (86) 2024

Научно-технический
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 3-2(86) 2024

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)

Главный редактор:

Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Васильева В.В. канд. техн. наук, доц.

Родимцев С.А. д-р техн. наук, доц.

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)

Ответственный за выпуск: Акимочкина И.В.

Адрес редколлегии:

302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл,

ул. Московская, 77

Тел. +79058566556

<https://orluniver.ru/science/journal/mtitm>

E-mail: srmotu@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе по
надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор).

Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.

Подписной индекс: 16376

по объединенному каталогу «Пресса России»

на сайтах www.ppressa-ru.ru и www.akc.ru

© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева,
2024

Содержание

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте	
Н.А. Филиппова, С.Ф. Степанов Информационные технологии управления транспортными системами в арктической зоне Российской Федерации для обеспечения продовольственной безопасности	3
С.А. Ляпин, Д.А. Кадасев, С.А. Дмитриев, Н.В. Воронин Планирование транспортной загрузки района города	10
Управление процессами перевозок	
Е.В. Лихайрова, А.И. Петров Влияние на риск гибели в ДТП в российских городах структурной специфики дорожно-транспортной аварийности	18
В.Е. Марченко, В.В. Страшной Методы управления транспортными системами на основе внедрения и функционирования инструментов бережливого производства на промышленном предприятии	27
В.М. Курганов, М.В. Грязнов, А.Н. Дорофеев Мотивация водителей автомобилей на перевозке торговых грузов	34
Эксплуатация автомобильного транспорта	
М.Д. Тебекин, И.В. Гусяков, А.В. Сидоренко Анализ применения вибрационного способа для диагностирования элементов ходовой части на примере автомобиля Урал «Next»	41
С.А. Гребенников, В.Н. Басков, Г.О. Киселев, А.В. Рогожин Диагностирование фаз газораспределения двигателя в режиме прокрутки коленчатого вала стартером	49
Л.С. Трофимова, А.В. Залознов, Б.С. Трофимов Методика для уточнения актуальных экологических показателей функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля	57
А.В. Зедгенизов Нормативное обеспечение оценки транспортного спроса на основе характеристик землепользования	68
У. Вахидов, С. Манянин, Ю. Молев, М. Черевастов Обеспечение управляемости транспортно-технологических специального назначения машин на шинах сверхнизкого давления при движении по дорогам общего пользования	74
Ц. Цзинь, В.В. Зырянов Определение ключевых факторов, влияющих на дорожно-транспортные происшествия: применение факторного анализа	82
А.С. Семькина, Н.А. Загородный Определение рационального периода эксплуатации карьерного автомобильного транспорта	89
А.А. Власов, В.В. Коновалов, Р.Ю. Кондаков, М.С. Мельников Решение проблем транспортных заторов средствами светофорного регулирования	99
И.Е. Ильина Эффективность мероприятий по повышению БДД с учетом целевой группы водителей	107
И.С. Брылев, Я.В. Васильев, С.А. Евтюков Структурно-функциональное описание цифрового двойника ДМТС на примере мотоцикла	113
Интеллектуальные транспортные системы	
Ж. Ван, В.В. Зырянов Архитектура кооперативных интеллектуальных транспортных систем	119
Е.А. Чеботарева Развитие инструментов оценки резервов пропускной способности железнодорожных участков на базе создания цифрового двойника и применения искусственной нейронной сети	126
Логистические транспортные системы	
С.Н. Глаголев, С.В. Еремин, А.Н. Новиков, А.Г. Шевцова Повышение эффективности функционирования транспортно-логистического комплекса страны	132
С.Ж. Жумалиева, Д.А. Тимофеева, М.И. Малышев Сетевой график перевозки грузов по маршруту Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбан – Коломбо и сравнительный анализ морских путей и мультимодального транспортного коридора «Север-Юг»	139

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

World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 3-2(86) 2024

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

Editor-in-Chief A.N. Novikov Doc.Eng., Prof	Contents
Associates Editor V.V. Vasileva Can. Eng. S.A. Rodimzev Doc. Eng.	<i>Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport</i>
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)	<i>N.A. Filippova, S.F. Stepanov</i> Information technologies for managing transport systems in the arctic zone of the russian federation to ensure food security 3 <i>S.A. Lyapin, D.A. Kadasev, S.A. Dmitriev, N.V. Voronin</i> Planning of the transport load of the city area 10
Person in charge for publication: I.V. Akimochkina	<i>Management of transportation processes</i>
Editorial Board Address: 302030, Russia, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitum E-mail: srmmostu@mail.ru	<i>E.V. Likhayrova, A.I. Petrov</i> Impact of the structural specifics of road accidents rate on the risk of death in road traffic accidents in russian cities 18 <i>V.E. Marchenko, V.V. Strashnoy</i> Methods of management of transport systems based on the introduction and operation of lean production tools in an industrial enterprise 27 <i>V.M. Kurganov, M.V. Gryaznov, A.N. Dorofeev</i> Motivation of car drivers for the transportation of commercial goods 34
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	<i>Operation of motor transport</i>
Subscription index: 16376 in a union catalog «The Press of Russia» on sites www.pressa-rf.ru and www.akc.ru	<i>M.D. Tebekin, I.V. Gussyakov, A.V. Sidorenko</i> Analysis of the application of the vibration method for diagnosing the elements of the chassis on the example of the ural «next» car 41 <i>S.A. Grebennikov, V.N. Baskov, G.O. Kiselev, A.V. Rogozhin</i> Diagnosis of the timing phases of the engine in the crankshaft scroll mode by the starter 49 <i>L.S. Trofimova, A.V. Zoloznov, B.S. Trofimov</i> Method for clarification of current environmental indicators of the functioning of a catalytic converter under conditions of starting a cold car engine 57 <i>A.V. Zedgenizov</i> Regulatory support for assessing transportation demand based on land use characteristics 68 <i>U.Sh. Vakhidov, S.Ye. Manyanin, Yu.I. Molev, M.G. Cherevastov</i> Ensuring the controllability of special-purpose transport and technological vehicles with ultra-low pressure tires when driving on public roads 74 <i>Ziming Jin, V.V. Zyryanov</i> Determining key factors influencing road traffic incidents: application of factor analysis 82 <i>A.S. Semykina, N.A. Zagorodny</i> Determination of the rational period of operation of quarry motor transport 89 <i>A.A. Vlasov, V.V. Kononov, R.Yu. Kondakov, M.S. Mel'nikov</i> The concept of a digital twin as the basis of intelligent transport systems 99 <i>I.E. Ilyina</i> The effectiveness of measures to improve road safety, taking into account the target group of drivers in the framework of the implementation of the road safety strategy 107 <i>I.S. Brylev, Y.V. Vasilyev, S.A. Evtyukov</i> Structural and functional description of the digital twin of dmts on the example of a motorcycle 113
© Registration. Orel State University, 2024	<i>Intelligent transport systems</i>
	<i>R. Wang, V.V. Zyryanov</i> Architecture of cooperative intelligent transportation systems 119 <i>E.A. Chebotareva</i> Development of reserve assessment tools the capacity of railway sections based on the creation of a digital twin and the use of an artificial neural network 126
	<i>Logistic transport systems</i>
	<i>S.N. Glagolev, S.V. Eremin, A.N. Novikov, A.G. Shevtsova</i> Increasing the efficiency of the country's transport and logistics complex 132 <i>S.Zh. Zhumaliyeva, D.A. Timofeeva, M.I. Malyshev</i> The network schedule of cargo transportation on the murmansk – st. Petersburg - Mumbai – Colombo route and a comparative analysis of sea routes and the North–South multimodal transport corridor 139

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

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

Научная статья

УДК 004.023

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-3-9

Н.А. ФИЛИППОВА, С.Ф. СТЕПАНОВ

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

***Аннотация.** В статье рассмотрен процесс управления транспортными системами в арктической зоне Российской Федерации на примере Республики Саха (Якутия). В виду того, что большая часть объемов грузов доставляется в период действия автозимников, авто-транспорт определен как основной участник транспортной системы региона. Отражены ключевые проблемы в действующей системе доставки грузов. Целью исследования является эффективное управление процессом доставки грузов в арктические населенные пункты со сложной транспортно-логистической схемой. Представлены инновационные решения в части внедрения информационно-аналитической системы, которая позволит повысить эффективность северного завоза путем снижения вероятности срыва сроков исполнения, снижение расходов за счет оптимизации процесса, а также повышения качества принимаемых управленческих решений за счет улучшения качества получаемой информации в режиме реального времени. Развитие транспортно-логистической системы доставки грузов для Арктической зоны Российской Федерации будет приобретать все большую социальную направленность в рамках повышения качества жизни местного населения и уменьшению их оттока из мест проживания.*

***Ключевые слова:** транспортно-логистическая система, арктическая зона, автозимник, труднодоступные населенные пункты, продовольственная безопасность, информационно-аналитическая система.*

Введение

Качество жизни населения, проживающего в арктической зоне Российской Федерации (далее АЗРФ), связано с уровнем развития транспортной системы, отвечающей за завоз продуктов питания, топлива и других социально-значимых грузов. При этом на малонаселенной территории восточной части АЗРФ сохраняется транспортная дискриминация труднодоступных населенных пунктов, так как действующая транспортная система в основном решает текущие задачи по снабжению региональных и районных центров. В особенности данная проблема ярко выражена в арктической зоне Республики Саха (Якутия).

Арктическая зона Республики Саха (Якутия) занимает площадь 1,5 млн. кв. километров и на всей этой территории отсутствуют круглогодичные дороги. В 30 % арктических районов отсутствует судоходство из-за предельно низкого уровня воды в реках. В этих условиях наибольшие сложности возникают при доставке продовольственных товаров для обеспечения потребности населения, проживающих в АЗРФ.

Целью данной работы является обеспечение продовольственной безопасности в арктической зоне путем внедрения информационных систем управления процессом завоза продовольственных товаров в труднодоступные населенные пункты.

Материал и методы

На сегодняшний день все объемы завоза продовольственных товаров осуществляются в Республику силами железнодорожного транспорта с последующей депонацией в централь-

ной части региона. Оттуда осуществляется снабжение арктических районов тремя видами транспорта: водным, авто и авиа транспортами.

Высокая себестоимость данной схемы завоза не позволяет увеличивать объемы поставок продовольственных товаров, обеспечивая лишь 20% от реальной потребности населения.

Альтернативной схемой завоза грузов в Республику Саха (Якутия) является маршрут по Северному морскому пути. В пределах границ региона Северный морской путь соединяет внутренние водные пути и образует единую транспортно-логистическую систему. Данная система включает в себя бассейны арктических рек, впадающих в воды моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря: Лена, Яна, Индигирка, Колыма и Анабар. Так же частью транспортной системы является инфраструктура морского и речного транспорта.

В государственную программу Российской Федерации по социально-экономическому развитию АЗРФ, утвержденной 21.04.2014 г., включены мероприятия по формированию восьми опорных зон развития, в том числе Северо-Якутской опорной зоны. В рамках модернизации данной опорной зоны предусмотрена реконструкция морского порта Тикси в целях развития транспортной инфраструктуры Северного морского пути.

Республика Саха (Якутия) в свою очередь, с учетом развития Северного морского пути и немалого значения в нем морского порта Тикси, должна создать логистическую инфраструктуру в арктической зоне региона.

Развитие транспортно-логистической системы в арктической зоне требует создания перевалочных пунктов и опорных баз. Практически все складские помещения в арктических районах были построены еще в 60-70-е года, износ составил от 70 до 90 %.

В 2021 году был запущен проект по созданию опорных баз в районных центрах арктических районов для депонирования завозимых продовольственных товаров с последующим завозом в труднодоступные населенные пункты. Данные объекты обеспечивают качественные условия хранения скоропортящихся продуктов за счет наличия современных овощехранилищ, холодильных камер, теплых складов. Объекты получили название торгово-логистических центров (далее ТЛЦ). С 2022 года данный проект финансируется по линии Министерства по развитию Дальнего Востока и Арктики РФ.

На реализацию проекта по строительству ТЛЦ в каждом арктическом районе из федерального бюджета предусмотрено финансирование в размере 1 млрд. руб. на период до 2025 года. В 2023 году было введено в эксплуатацию сразу 5 объектов ТЛЦ и на 01 января 2024 года ТЛЦ функционируют уже в 8 арктических районах. В 2024 году планируется завершить строительство 2 объектов ТЛЦ и начать строительство 3 ТЛЦ с плановым вводом в эксплуатацию в 2025 году. Таким образом к концу 2025 года сетью ТЛЦ будут охвачены все районы арктической зоны Республики Саха (Якутия).

Однако, строительство ТЛЦ не снимает полностью вопрос продовольственной безопасности в арктической зоне региона. Объекты находятся в районных центрах, при этом большинство арктических населенных пунктов не имеют круглогодичных наземных путей сообщения с ними.

В Республике Саха (Якутия) 191 населенный пункт считаются труднодоступными, 96 из них находятся в арктической зоне. Основным участником транспортно-логистической системы по доставке грузов в арктической зоне региона является автомобильный вид транспорта, так как только он, в период автозимника, охватывает 100% отдаленных и труднодоступных населенных пунктов.

Так как на территории арктической зоны региона отсутствуют круглогодичные дороги, более 90 % дорог являются сезонными (автозимники).

Таблица 1 - Доля автозимников в общей протяженности дорог в разрезе арктических районов Республики Саха (Якутия)

№	Наименование района	Протяженность, км.			Доля автозимников в общей протяженности дорог, в %
		Общая протяженность	Дороги с твердым покрытием	Автозимники	
1	Абый.ский	829	54	775	93,4
2	Ана.барский	374	34	340	90,9
3	Аллаи.ховский	625	11	614	98,2
4	Булун.ский	1687	11	1676	99,3
5	Верхо.янский	2117	262	1855	87,6
6	Верх.неколымский	485	76	409	84,3
7	Жиган.ский	400	8	392	98,0
8	Ниж.неколымский	663	14	649	97,8
9	Мом.ский	1233	58	1175	95,3
10	Олен.екский	1175	40	1135	96,6
11	Сред.еколымский	1204	40	1164	96,6
12	Усть-Я.нский	1921	241	1680	87,4
13	Эвено-Б.ытантайский	579	39	540	93,2
	Всего	13 292	888	12 404	93,3

Данные автозимники пролегают по замерзшим руслам арктических рек, поэтому в транспортной системе арктические районы региона разделяются по бассейнам рек (анабарская, ленская, янская, индигирская и колымская группы районов). Управление и организация грузопотока в арктической зоне региона производится с учетом указанной группировки районов по бассейнам рек.

В условиях сложной транспортно-логистической схемы доставки грузов в арктическую зону Республики Саха (Якутия) особые сложности возникают при транспортировке продовольственных товаров. При этом повышение качества жизни людей, проживающих в арктической зоне, требует не просто обеспечения минимальных требований продовольственной безопасности населения, а обеспечения реальной потребности населения в расширении ассортимента завозимых продуктов. Вытекающая отсюда необходимость увеличения объемов завоза скоропортящихся продовольственных товаров, таких как фрукты и овощи, требует внедрения инноваций в части организации процесса грузоперевозок.

Теория

Внедрение информационных технологий в управлении транспортными системами в арктической зоне Республики Саха (Якутия) в рамках обеспечения продовольственной безопасности населения.

В последние годы задача эффективного управления процессом доставки грузов в арктические районы Республики Саха (Якутия) стало приоритетом властей региона. В 2022 году на уровне Правительства Республики Саха (Якутия) был поднят вопрос о внедрении информационно-аналитической системы «Северный завоз». Основная цель внедрения данной системы -повышение эффективности процесса доставки грузов, снижение вероятности неисполнения планов по объемам завоза грузов и их срокам, оптимизация процессов, повышение качества управленческих решений путем получения актуальной и корректной информации в режиме реального времени.

Информационно-аналитическая система «Северный завоз» создается как единый инструмент для работы всех заинтересованных сторон, участвующих в процессе доставки грузов в арктическую зону региона. Доступ к системе будет предоставлен всем заинтересованным организациям: потребителям, поставщикам, перевозчикам, контролирующим органам, руководству региона.

Внедряемая система должна решать следующие задачи:

- повышение прозрачности данных;
- прогнозирование инцидентов;

- работа с оперативными данными;
- принятие решений и анализ.

Разработка ИАС «Северный завоз» разделена на 3 этапа разработки:

- 1 этап – 2022 год;
- 2 этап – 2023 год;
- 3 этап – 2024 год.

Реализация 1 этапа разработки ИАС «Северный завоз» завершена в декабре 2022 года. За 1 этап разработки 2022 года, в рамках исполнения контракта реализована базовая версия Системы со следующим перечнем модулей и разделов - «Картографический модуль», «Управление заявками», «План завоза», «Трекинг грузов», «Контроль запасов», «Оперативные данные», «Аналитика», «Контрагенты», «Управление слоями», «Модуль администрирования справочников Системы», «Модуль журналирования действий», «Модуль администрирования пользователей и ролей пользователей Системы».

В настоящее время 2 этап разработки завершен. Итоговые приемочные испытания системы были проведены 18.12.2023 г.

Основные выполненные мероприятия за 2023 год:

- расширение функционала и доработка основных модулей и разделов, в том числе разделов «Управление заявками», «Контроль запасов», «План», «Оперативка», «Трекинг грузов», модулей «Картографический модуль», «Аналитика»;

- создание модуля «Отчеты» для формирования планов, по стандартизированной форме утверждаемых Распоряжением Правительства Республики Саха (Якутия), оперативных отчетов по исполнению планов завоза, детальным форм отчетности по завозу/перевозке грузов по отдельным хозяйствующим субъектам, рекам и улусам;

- проведена интеграция с базами данных АО «Арктическая торгово-логистическая компания» и АО «Саханефтегазбыт» в целях получения информации о запасах и исполнению плановых объемов грузов (на предприятиях проведены работы по автоматизации процесса заполнения данных в тестовом режиме);

- проведена интеграция с федеральной системой мониторинга речных/морских судов для отслеживания дислокации судов в реальном времени (получен доступ к системе мониторинга дислокации судов КИИС «Море», перенесены все необходимые данные в Систему.

В 2024 году планируется решить вопрос трекинга автотранспорта участвующего в перевозках жизнеобеспечивающих грузов по автозимникам.

Результаты и обсуждение

Анализ ежегодных объемов завоза продовольственных товаров в арктические районы Республики Саха (Якутия) показывает, что основной схемой логистики, охватывающей 100% труднодоступных населенных пунктов, является завоз грузов по ледовым автозимникам.

По итогам 2023 года в арктическую зону было завезено 7 478 тонн продовольственных товаров водным, авто и авиатранспортом. На автотранспорт приходится более 57 % от общего объема завоза. Доля участия автотранспорта в объеме завоза грузов увеличивается, если речь заходит о снабжении труднодоступных населенных пунктов. В 2023 году до труднодоступных населенных пунктов доставлено 1 710,7 тонн. При этом 95 % (1 626,7 тонн) от общего объема завоза продовольственных товаров в труднодоступные населенные пункты было осуществлено автомобильным транспортом. Малая авиация, задействованная в завозе продовольствия и представленная самолетами АН-2, охватывает 50 % из 96 труднодоступных населенных пунктов. В силу ограниченного финансирования в период межсезонья силами малой авиации было завезено всего 5 % от общего объема завоза или 84 тонны в период межсезонья.

В период автозимника 2024-2025 годов необходимо провести тестовые эксплуатации систем трекинга на автотранспортах АО «Арктическая торгово-логистическая компания» Предварительно были проведены рабочие встречи с представителями АО «Глонасс» и ПАО

«МТС» (система «СКАУТ»).

Министерством ГО и ОБЖН РС(Я), являющимся едином координатором по северному завозу в Республике Саха (Якутия) ведется работа по формированию технического задания на 2024 год (в рамках 3 этапа разработки). В техническое задание входят следующие мероприятия:

- модернизация и улучшение уже действующих модулей;
- интеграция с системами учета данных хозяйствующих субъектов (участников Северного завоза);
- адаптация функционирования Системы под актуализированные требования ФЗ №411 от 04.08.2023 г. «О Северном завозе» (в настоящее время не все Постановления РФ еще сформированы и утверждены);
- разработка и эксплуатация функционала отслеживания автотранспорта перевозящих жизнеобеспечивающие грузы в период автозимников);

В 2025 году планируется ввести информационно-аналитическую систему в опытную эксплуатацию с учетом ее постоянной модернизации.

Вывод

Повышение качества жизни людей, проживающих в арктической зоне, требует не просто обеспечения минимальных требований продовольственной безопасности населения, а обеспечения реальной потребности населения в расширении ассортимента завозимых продуктов. Эффективное управление транспортными системами в арктической зоне невозможно без внедрения инноваций в части организации процесса грузоперевозок.

В транспортно-логистической системе доставки грузов в арктической зоне Республики Саха (Якутия) все еще остаются проблемные вопросы. Внедрение информационных технологий управления транспортными системами нацелено на повышение эффективности процесса доставки грузов, снижение вероятности неисполнения планов по объемам завоза грузов и их срокам, оптимизация процессов, повышение качества управленческих решений путем получения актуальной и корректной информации в режиме реального времени.

При реализации проекта по внедрению информационных технологий в целях совершенствования системы доставки грузов целесообразно изучать и внедрять альтернативные логистические схемы. Для арктической зоны региона крайне важно возобновление активных грузовых перевозок по Северному морскому пути. Восстановление грузопотока по северному морскому пути требует соответствующей реконструкции всей транспортной инфраструктуры АЗРФ. Процесс развития транспортных систем в арктической зоне не обойдется без использования новых видов транспорта, приспособленных к экстремальным условиям арктических территорий.

Следующим этапом совершенствования управления транспортными системами в арктической зоне Республики Саха (Якутия), в рамках обеспечения продовольственной безопасности населения, должно стать мероприятие по разработке и внедрению порядков и методик формирования объемов завозимых продовольственных товаров.

На сегодняшний день формирование объемов завозимых продовольственных товаров в арктические районы осуществляется в условиях отсутствия какой-либо методики расчета. Фактически данный процесс основывается в большей степени на данных, которые заявляют администрации муниципальных районов по неопределенным и необоснованным соображениям.

Системный подход в части совершенствования транспортно-логистической системы доставки грузов приведет к улучшению условий проживания населения арктической зоны Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппова Н.А. Транспортные системы и дорожная инфраструктура севера // Наука и техника в дорожной отрасли. 2022. №3. С. 1-2.

2. Филиппова Н.А. Интеграция различных видов транспорта в единую систему перевозки грузов в условиях Севера // Автоматизация и управление в технических системах. 2014. №3. С. 150-158.
3. Филиппова Н.А., Ефименко Д.Б., Ледовский А.А. Обеспечение эффективности транспортных процессов в районах Крайнего Севера // Мир транспорта. 2018. №4. С. 150-159.
4. Филиппова Н.А., Иванова А.Е., Ишков А.М. Перспективы развития транспортной доступности Арктических улусов республики Саха (Якутия) // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-2 (80). С. 50-56.
5. Филиппова Н.А., Власов В.М., Богумил В.Н. Обеспечение эффективной и надежной доставки грузов северного завоза для районов крайнего севера и Арктической зоны России / под ред. В.М. Беляева, В.И. Сарбаева. М., 2019. 224 с.
6. Филиппова Н.А., Мороз Л.Г., Доленко Д.В. Применение метода сетевого планирования и управления для планирования мультимодальной перевозки // International Journal of Advanced Studies (Международный журнал перспективных исследований). 2018. Т. 8. №3-2. С. 49-68.
7. Кондратов Н.А. Особенности развития транспортной инфраструктуры в Арктической зоне России // Географический вестник. 2020. №4(43). С. 68-80. 001 10.17072/2079-7877-2017-4-68-80.
8. Загородников М.А. Развитие транспортной инфраструктуры Северного морского пути (СМП) // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера. 2017. №2. С. 6873.
9. Гаджиев Ю.А. Межрегиональные различия в экономическом развитии зоны Севера // Вопросы статистики. 2014. 10. С. 8-14.
10. Продовольственная безопасность региона: монография / А.Н. Анищенко, Т.В. Ускова, Р.Ю. Селименов и др. Вологда: Институт социально-экономического развития территорий РАН, 2014. 102 с.
11. Акопов В.И., Гаджиев Ю.А. Социальное развитие регионов Севера России // Проблемы прогнозирования. 2016. 5. С. 55-67.
12. Filippova N., Vlasov V., Melnikova T., Spirin I., Grishaeva Y. Features of Sustainable Development of the Arctic Region: Transport and Personnel Training // Transportation Research Procedia. Сер. «International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems». 2021. P. 179-183.
13. Prihodko V., Vlasov V., Tatashev A., Filippova N. Influence of Climatic Factors on the Implementation of Intelligent Transport System Technologies in the Regions of the Far North and the Arctic // Transportation Research Procedia. Сер. «International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems». 2021. P. 495-501.
14. Dorofeev A., Kurganov V., Vlasov V., Bogumil V., Filippova N., Trofimenko Y. Methodology of Freight Transport Management in the Arctic Zone of Russia With Account for Natural and Climatic Factors // Transportation Research Procedia. Сер. «International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems». 2021. P. 735-739.
15. Filippova N., Zhukov A., Bogumil V., Melnikova T., Ostroukh A. Automated Dispatching Control System of Transportation Concrete Products // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. Vol. 14. №24. P. 4821-4826.

Филиппова Надежда Анатольевна

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Адрес: 127473, Россия, Москва, ул. Садовая-Самотечная, д. 1

Д.т.н., профессор кафедр «Автомобильные перевозки», «Транспортная телематика»

E-mail: umen@bk.ru

Степанов Сайдам Федотович

Акционерное общество «Арктическая торгово-логистическая компания»

Адрес: 677000, Россия, Якутск, Переулок Базовый, 5

Генеральный директор

E-mail: stepanov_af@list.ru

N.A. FILIPPOVA, S.F. STEPANOV

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR MANAGING TRANSPORT SYSTEMS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION TO ENSURE FOOD SECURITY

Abstract. The article examines the process of managing transport systems in the Arctic zone of the Russian Federation using the example of the Republic of Sakha (Yakutia). Due to the fact that most of the cargo volumes are delivered during the period of winter roads, motor transport is identi-

fied as the main participant in the region's transport system. The key problems in the current cargo delivery system are reflected. The purpose of the study is to effectively manage the process of delivering goods to Arctic settlements with a complex transport and logistics scheme. Innovative solutions are presented regarding the implementation of an information and analytical system, which will improve the efficiency of northern delivery by reducing the likelihood of missed deadlines, reducing costs by optimizing the process, as well as improving the quality of management decisions made by improving the quality of information received in real time. The development of a transport and logistics system for the delivery of goods for the Arctic zone of the Russian Federation will become increasingly socially oriented as part of improving the quality of life of the local population and reducing their outflow from their places of residence.

Keywords: *transport and logistics system, Arctic zone, winter road, hard-to-reach settlements, food security, information and analytical system*

BIBLIOGRAPHY

1. Filippova N.A. Transportnye sistemy i dorozhnaya infrastruktura severa // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2022. №3. S. 1-2.
2. Filippova N.A. Integratsiya razlichnykh vidov transporta v edinuyu sistemu perevozki грузов v usloviyakh Severa // Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh. 2014. №3. S. 150-158.
3. Filippova N.A., Efimenko D.B., Ledovskiy A.A. Obespechenie effektivnosti transportnykh protsessov v rayonakh Kraynego Severa // Mir transporta. 2018. №4. S. 150-159.
4. Filippova N.A., Ivanova A.E., Ishkov A.M. Perspektivy razvitiya transportnoy dostupnosti Arkticheskikh ulusov respubliki Sakha (Yakutiya) // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №1-2 (80). S. 50-56.
5. Filippova N.A., Vlasov V.M., Bogumil V.N. Obespechenie effektivnoy i nadezhnoy dostavki грузов severnogo zavoza dlya rayonov kraynego severa i Arkticheskoy zony Rossii / pod red. V.M. Belyaeva, V.I. Sarbaeva. M., 2019. 224 s.
6. Filippova N.A., Moroz L.G., Dolenko D.V. Primenenie metoda setevogo planirovaniya i upravleniya dlya planirovaniya mul'timodal'noy perevozki // International Journal of Advanced Studies (Mezhdunarodnyy zhurnal perspektivnykh issledovaniy). 2018. T. 8. №3-2. S. 49-68.
7. Kondratov N.A. Osobennosti razvitiya transportnoy infrastruktury v Arkticheskoy zone Rossii // Geograficheskii vestnik. 2020. №4(43). S. 68-80. 001 10.17072/2079-7877-2017-4-68-80.
8. Zagorodnikov M.A. Razvitie transportnoy infrastruktury Severnogo morskogo puti (SMP) // Korporativnoe upravlenie i innovatsionnoe razvitie ekonomiki Severa. 2017. №2. S. 6873.
9. Gadzhiev Yu.A. Mezhhregional'nye razlichiya v ekonomicheskom razvitii zony Severa // Voprosy statistiki. 2014. 10. S. 8-14.
10. Prodovol'stvennaya bezopasnost' regiona: monografiya / A.N. Anishchenko, T.V. Uskova, R.Yu. Selimenkov i dr. Vologda: Institut sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya territoriy RAN, 2014. 102 s.
11. Akopov V.I., Gadzhiev Yu.A. Sotsial'noe razvitie regionov Severa Rossii // Problemy prognozirovaniya. 2016. 5. S. 55-67.
12. Filippova N., Vlasov V., Melnikova T., Spirin I., Grishaeva Y. Features of Sustainable Development of the Arctic Region: Transport and Personnel Training // Transportation Research Procedia. Ser. «International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems». 2021. R. 179-183.
13. Prihodko V., Vlasov V., Tatashev A., Filippova N. Influence of Climatic Factors on the Implementation of Intelligent Transport System Technologies in the Regions of the Far North and the Arctic // Transportation Research Procedia. Ser. «International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems». 2021. P. 495-501.
14. Dorofeev A., Kurganov V., Vlasov V., Bogumil V., Filippova N., Trofimenko Y. Methodology of Freight Transport Management in the Arctic Zone of Russia With Account for Natural and Climatic Factors // Transportation Research Procedia. Ser. «International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems». 2021. P. 735-739.
15. Filippova N., Zhukov A., Bogumil V., Melnikova T., Ostroukh A. Automated Dispatching Control System of Transportation Concrete Products // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. Vol. 14. №24. P. 4821-4826.

Filippova Nadezhda Anatolevna

Moscow Automobile and Highway State Technical University
Address: 127473, Russia, Moscow
Doctor of technical sciences
E-mail: umen@bk.ru

Stepanov Saidam Fedotovich

Joint Stock Company «Arctic Trade and Logistics Company»
Address: 677000, Russia, Yakutsk, Bazovy Lane, 5
CEO
E-mail: stepanov_af@list.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-10-17

С.А. ЛЯПИН, Д.А. КАДАСЕВ, С.А. ДМИТРИЕВ, Н.В. ВОРОНИН

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАГРУЗКИ РАЙОНА ГОРОДА

Аннотация. Планирование транспортной загрузки является одним из важнейших этапов развития городов. Были проведено обследование основных характеристик транспортного потока. Методом исследования перераспределения транспортной загрузки выбрано имитационное транспортное моделирование. Оценка транспортной загрузки района города проводилась на основании показателей эффективности организации дорожного движения.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, управление транспортным средством, моделирование транспортных потоков

Введение

Одной из важнейших проблем, с которыми сталкиваются города, является перегрузка транспортной сети [1]. Эта проблема не только ухудшает качество жизни людей, но и негативно сказывается на экономике города [2]. В этой статье мы рассмотрим основные причины перегрузки транспортной системы и смоделируем дорожно-транспортную ситуацию с учетом роста уровня загрузки транспортными средствами.

Одна из главных причин перегрузки транспортной системы - это быстрый рост количества автомобилей [3]. Каждый год количество автомобилей увеличивается, что приводит к росту трафика и образованию пробок [4]. Другая причина - это недостаточное развитие общественного транспорта [5]. Чтобы решить эти проблемы, необходимо разрабатывать комплексные меры по улучшению транспортной системы города [6]. Одним из решений может быть создание мультимодальных транспортно-пересадочных узлов, которые будут объединять различные виды транспорта, развивать велосипедную и пешеходную инфраструктуру, чтобы люди могли перемещаться по городу, не используя автомобили [7]. Интеллектуальные системы управления транспортными потоками также могут помочь оптимизировать движение на дорогах [8]. Эти системы используют данные о загруженности дорог, погоде и других факторах, чтобы определить оптимальные маршруты движения. Повышение безопасности дорожного движения также является важным направлением работы [9]. Улучшение качества дорожного покрытия, установка камер видеонаблюдения и контроль за соблюдением правил дорожного движения помогут снизить количество аварий и увеличить пропускную способность дорог.

Материал и методы

В качестве метода исследования загрузки транспортной сети используется имитационное моделирование [10]. Имитационное транспортное моделирование является важным инструментом для оптимизации и анализа транспортных систем [11]. Оно позволяет создавать модели движения транспортных средств, пешеходов и других участников дорожного движения, а также анализировать различные сценарии и принимать обоснованные решения по управлению транспортными потоками. Имитационное моделирование включает в себя создание моделей, которые отражают основные характеристики и взаимосвязи между элементами транспортной системы. Такие модели могут быть использованы для прогнозирования поведения системы в различных условиях, оценки эффективности мер по улучшению движения и определения оптимальных решений для управления транспортными потоками [12]. Одним из основных преимуществ имитационного транспортного моделирования является возможность учета различных факторов, влияющих на движение транспорта, таких как плотность потока, пропускная способность дорог, время ожидания на перекрестках, задержки из-за ДТП и другие [13]. Это позволяет получить более точные результаты и принимать более обоснованные решения [14].

Теория / Расчет

Рассмотрим участок улиц Меркулова, Катукова и Воронежского шоссе города Липецка. Ситуационный план участка дороги представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Ситуационный план участка улиц Меркулова, Катукова и Воронежского шоссе г. Липецка

Объектом исследования является улично-дорожная сеть, состоящая из следующих улиц: Меркулова, Катукова и Воронежское шоссе. Улица Меркулова – магистральная улица районного значения. Проходит от улицы Водопьянова до улицы Белана. Пересекает проспект 60 лет СССР и улицу Катукова. Улица Катукова – магистральная улица общегородского значения в Октябрьском округе города Липецка. Проходит от площади Танкистов до Московской улицы. Пересекает улицы Меркулова, Стаханова и Кривенкова. Параллельно проходят улица Белана и проспект 60 лет СССР. Воронежское шоссе - магистральная улица районного значения. На регулируемом перекрестке улиц Катукова-Меркулова установлена светофорная сигнализация. Через рассматриваемую транспортную сеть проходят следующие маршруты городского пассажирского транспорта: 7, 7а, 1т, 5к, 8, 8о, 20, 306, 379, 35, 37, 102, 345, 235, 402. На протяжении всей транспортной сети уложено асфальтобетонное покрытие, состояние покрытия – хорошее. Все канализационные люки и ливневые решетки находятся на одном уровне с дорогой и не мешают движения транспортных потоков. Дорожная разметка находится в удовлетворительном состоянии [15]. Данная сеть оборудована необходимыми дорожными знаками. Выбранный участок улично-дорожной сети оборудован необходимыми дорожными знаками, установлена светофорная сигнализация [16].

Замеры интенсивности движения транспортного потока проводились в будний день в часы пик. Интенсивность движения транспортных средств неравномерна и составляет от 1300 до 2000 авт./час. Картограмма интенсивности движения и диаграмма состава потока приведены на рисунке 2.

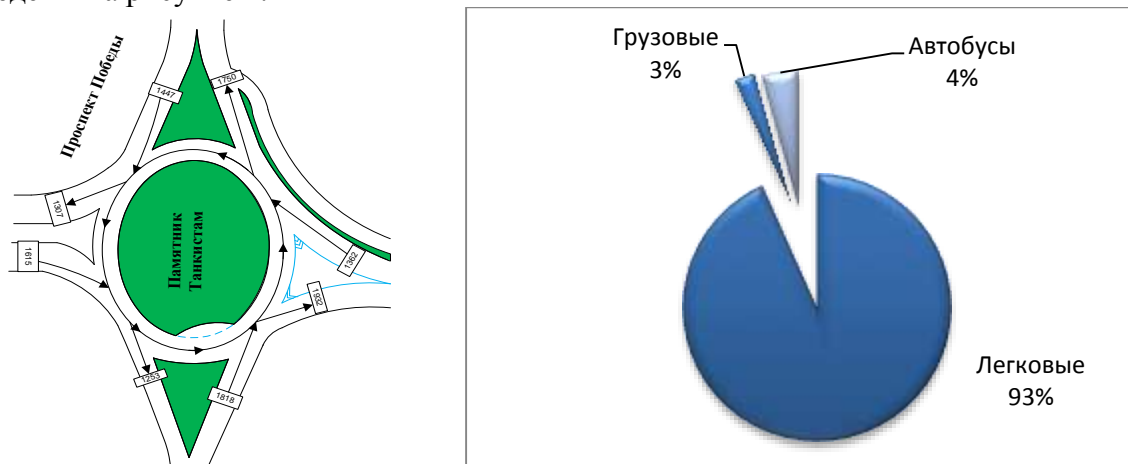


Рисунок 2 - Картограмма интенсивности движения и диаграмма состава потока

Создание модели регулируемых перекрестков дороги будем проводить в программе Aimsun. Программа имитационного моделирования Aimsun является одним из наиболее мощных и гибких инструментов для анализа транспортных потоков и разработки стратегий управления дорожным движением. Она предоставляет возможность моделирования различных видов транспорта, включая автомобили, автобусы, мотоциклы, велосипеды и пешеходов. Aimsun позволяет создавать сложные транспортные сети с учетом всех особенностей местности и инфраструктуры, а также анализировать влияние различных факторов, таких как время суток, погодные условия, плотность потока и другие [17]. Одной из ключевых особенностей Aimsun является возможность интеграции с другими программными продуктами и базами данных, что позволяет получать более точные и актуальные результаты моделирования [18]. Aimsun широко используется в различных областях, таких как планирование инфраструктуры, оптимизация маршрутов, оценка воздействия новых проектов на транспортную сеть и многое другое. Благодаря своей гибкости и точности, программа становится все более популярной среди специалистов в области транспорта и градостроительства [19]. Созданная имитационная транспортная модель приведена на рисунке 3.

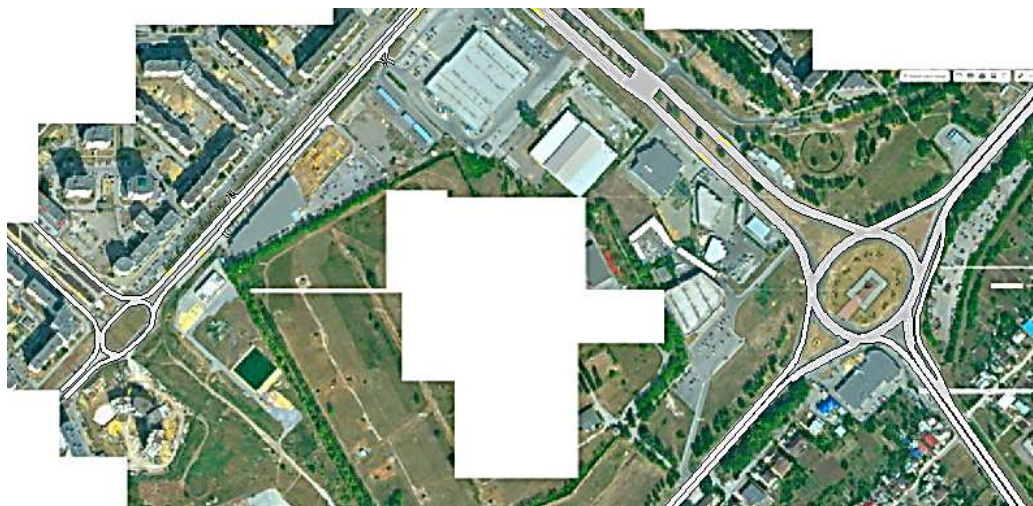


Рисунок 3 – Имитационная модель улично-дорожной сети

Процесс внесения интенсивности движения транспортных потоков приведено на рисунке 4. Значения интенсивности движения транспортных средств вносятся по каждому направлению движения. Особенностью моделирования транспортного потока является его распределение по транспортной сети в соответствии с существующей схемой организации движения.

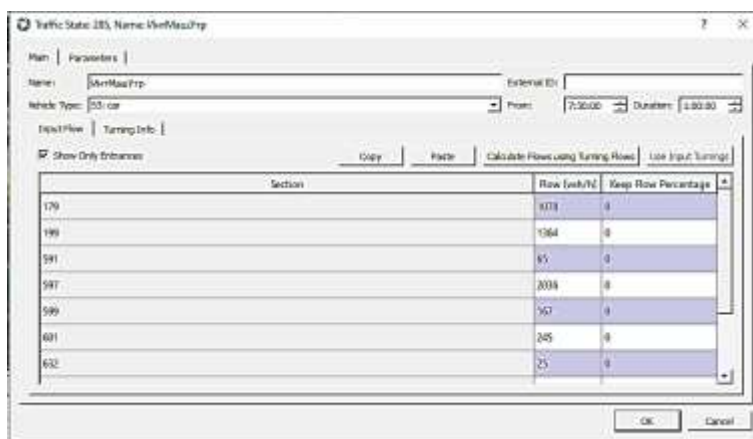


Рисунок 4 – Моделирование интенсивности движения транспортных потоков

Результаты имитационного моделирования транспортных потоков на рассматриваемом участке улично-дорожной сети приведены на рисунке 5. Как видно, загрузка транспортной сети доходит до 80 %. Для решения транспортных проблем и снижения транспортной загрузки рассматриваемого района города Липецка предлагается оценить влияние строительства магистральной улицы, соединяющей улицу Меркулова и Воронежское шоссе г. Липецка, а также оптимизации светофорного регулирования.

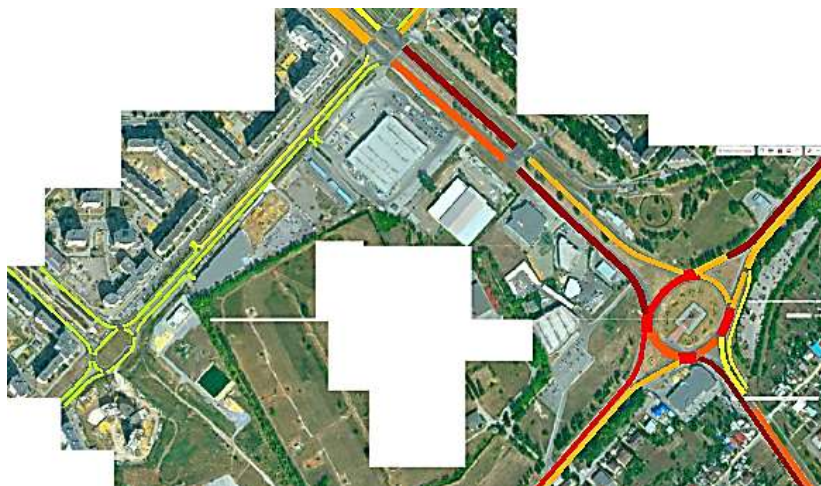


Рисунок 5 – Моделирование транспортных потоков при существующей схеме организации движения

С помощью программы Avenue 2.0 был смоделирован график светофорного цикла и проведена оптимизация длительности разрешающих сигналов. Сравнение уже имеющегося светофорного цикла и оптимизированного представлено на рисунке 6. Результаты оптимизации показывают, что предлагаемый график светофорной сигнализации позволит снизить транспортную задержку на 28 %.

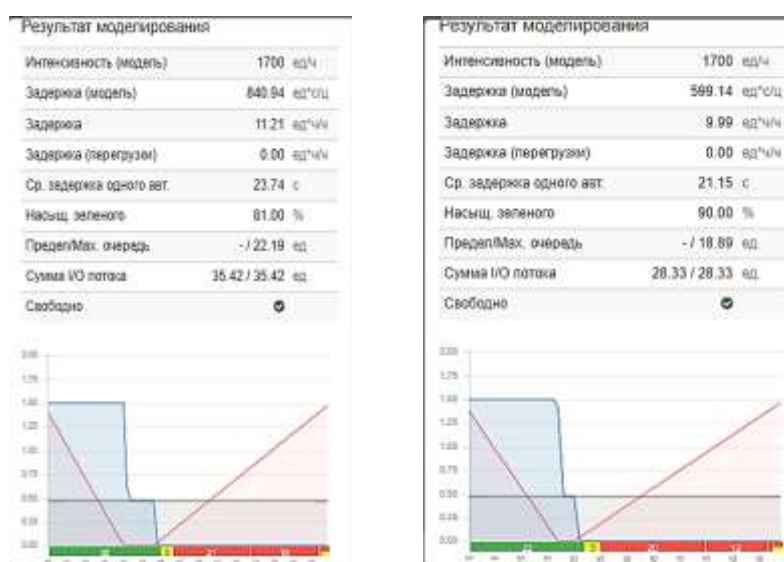


Рисунок 6 – Моделирование светофорных циклов

Для планирования транспортной загрузки микрорайона города предлагается перераспределить транспортные потоки. Для этого предлагается смоделировать улично-дорожную сеть между улицами Воронежское шоссе и улицей Меркулова. Моделирование предлагаемой схемы организации дорожного движения на рассматриваемом участке улично-дорожной сети города приведено на рисунке 7.

организации дорожного движения. Учет большого количества факторов, влияющих на транспортную загрузку, позволяет более точно прогнозировать движение транспорта и принимать обоснованные решения по оптимизации транспортных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. 108 с.
2. Новиков А.Н., Еремин С.В., Ломакин Д.О. Оценка уровня безопасности дорожного движения на региональном уровне // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №3(70). С. 72-79.
3. Ляпин С.А., Кадасев Д.А., Воронин Н.В. Обеспечение эффективности организации дорожного движения согласованием работы светофорных объектов // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-3(82). С. 82-88.
4. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.
5. Ляпин С.А., Кадасев Д.А., Воронин Н.В., Жеребцова Н.М. Аспекты цифровой трансформации транспортной отрасли в регионе // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-3(78). С. 117-126.
6. Гринченко А.В., Казарина М.В. Комплексная оценка уровня конкурентоспособности перевозчика на рынке пассажирских услуг // Вестник транспорта. 2016. №7. С. 34-38.
7. Основы организации дорожного движения: Учебное пособие / А.Н. Новиков, Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.С. Камбур. Белгород, Орел: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. 170 с.
8. Кулев А.В., Минаева Е.М. Проблемы повышения качества в сфере перевозок пассажиров // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-2(82). С. 100-105.
9. Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Шадрин А.В., Гаврилюк М.В. Имитационное моделирование в проектах ИТС: учебное пособие. М.: МАДИ, 2016. 92 с.
10. Баротова А.Ж. Имитационная модель перекрёстка с возможностью оптимизации светофорного регулирования / Под редакцией С.А. Пиявского, З.Ф. Камальдиновой // Творческий потенциал – 2017: Сборник статей. 2018. С. 26-35.
11. Кадасев Д.А. Илюшина М.А. Планирование мероприятий по организации дорожного движения с помощью имитационного моделирования // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2022. №3(49). С. 48-57.
12. Еремин С.В., Новиков А.Н., Фроленкова Л.Ю. и др. Совершенствование дорожного движения в городе Красноярске на основе интеллектуальных транспортных технологий // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-1(80). С. 76-86. DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-76-86.
13. Зырянов В.В., Феофилова А.А., Чуклинов Н.Н. Динамическая маршрутизация транспортных потоков как метод снижения транспортной нагрузки на элементы УДС // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №1(60). С. 74-80.
14. Жанказиев С.В., Нгуен С.Х. Анализ состояния дорожного движения методом экспертных оценок // Наука и техника в дорожной отрасли. 2019. №1(87). С. 7-10.
15. Сильянов В.В., Капитанов В.Т., Моница О.Ю. О совершенствовании сетевого управления транспортными потоками в интеллектуальных транспортных системах / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 5-ой Международной научно-практической конференции. 2020. С. 108-113.
16. Кадасев Д.А., Петросянц А.И. Организация светофорного регулирования на перекрестке улиц для повышения безопасности движения пешеходов // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2022. №1(47). С. 39-48.
17. Ляпин С.А., Кадасев Д.А., Воронин Н.В. Применение информационных технологий для оценки влияния интенсивности движения транспортных средств на время проезда магистрали // Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения: материалы IV Всеросс. науч. конф. с междунар. уч. Тольятти. 2021. С. 271-277.
18. Загидуллин Р.Р., Дегтярев А.А. Применение координированного управления на магистральной улице города Казани - улице Восстания // Техника и технология транспорта. 2021. №1(20). С. 9.
19. Ляпин С.А., Ризаева Ю.Н., Кадасев Д.А. Проактивное управление транспортными потоками городов выходящими на автомагистрали международных транспортных коридоров // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №2(73). С. 81-91.
20. Парсаев Е.В., Тетерина И.А., Кашталинский А.С. Оценка загрязнения атмосферного воздуха транспортными потоками на перегонах улиц (на примере г. Омска) // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. №8(139). С. 181-188. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-8-181-188.

Ляпин Сергей Александрович

Липецкий государственный технический университет

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

Д.т.н., доцент, профессор кафедры управления автотранспортом

E-mail: lyapin_sa@stu.lipetsk.ru

Кадасев Дмитрий Анатольевич

Липецкий государственный технический университет

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

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

E-mail: kadasev_da@stu.lipetsk.ru

Дмитриев Семен Анатольевич

Липецкий государственный технический университет

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

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

E-mail: dmitriev_sa@stu.lipetsk.ru

Воронин Никита Владимирович

Липецкий государственный технический университет

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

Аспирант

E-mail: stels650n@mail.ru

S.A. LYAPIN, D.A. KADASEV, S.A. DMITRIEV, N.V. VORONIN

PLANNING OF THE TRANSPORT LOAD OF THE CITY AREA

Abstract. Transport load planning is one of the most important stages of urban development. A survey of the main characteristics of the traffic flow was conducted. Simulation transport modeling was chosen as the method of studying the redistribution of transport load. The assessment of the transport load of the city area was carried out on the basis of indicators of the effectiveness of traffic management.

Keywords: road safety, vehicle management, traffic flow modeling

BIBLIOGRAPHY

1. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova, 2021. 108 s.
2. Novikov A.N., Eremin S.V., Lomakin D.O. Otsenka urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na regional'nom urovne // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №3(70). S. 72-79.
3. Lyapin S.A., Kadasev D.A., Voronin N.V. Obespechenie effektivnosti organizatsii dorozhnogo dvizheniya soglasovaniem raboty svetofornykh ob'ektov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-3(82). S. 82-88.
4. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.
5. Lyapin S.A., Kadasev D.A., Voronin N.V., Zherebtsova N.M. Aspekty tsifrovoy transformatsii transportnoy otrasli v regione // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-3(78). S. 117-126.
6. Grinchenko A.V., Kazarina M.V. Kompleksnaya otsenka urovnya konkurentosposobnosti perevozchika na rynke passazhirskikh uslug // Vestnik transporta. 2016. №7. S. 34-38.
7. Osnovy organizatsii dorozhnogo dvizheniya: Uchebnoe posobie / A.N. Novikov, L.E. Kushchenko, S.V. Kushchenko, A.S. Kambur. Belgorod, Orel: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova, 2023. 170 s.
8. Kulev A.V., Minaeva E.M. Problemy povysheniya kachestva v sfere perevozok passazhirov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-2(82). S. 100-105.
9. Zhankaziev S.V., Vorob'ev A.I., Shadrin A.V., Gavriluk M.V. Imitatsionnoe modelirovanie v proektakh ITS: uchebnoe posobie. M.: MADI, 2016. 92 s.
10. Barotova A.Zh. Imitatsionnaya model' perekriostka s vozmozhnost'yu optimizatsii svetofornogo regulirovaniya / Pod redaktsiey S.A. Piyavskogo, Z.F. Kamal'dinovoy // Tvorcheskii potentsial - 2017: Sbornik statey. 2018. S. 26-35.
11. Kadasev D.A., Ilyushina M.A. Planirovanie meropriyatiy po organizatsii dorozhnogo dvizheniya s

pomoshch'yu imitatsionnogo modelirovaniya // Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2022. №3(49). S. 48-57.

12. Eremin S.V., Novikov A.N., Frolenkova L.Yu. i dr. Sovershenstvovanie dorozhnogo dvizheniya v gorode Krasnoyarske na osnove intellektual'nykh transportnykh tekhnologiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №1-1(80). S. 76-86. DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-76-86.

13. Zyryanov V.V., Feofilova A.A., Chuklinov N.N. Dinamicheskaya marshrutizatsiya transportnykh potokov kak metod snizheniya transportnoy nagruzki na elementy UDS // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №1(60). S. 74-80.

14. Zhankaziev S.V., Nguen S.H. Analiz sostoyaniya dorozhnogo dvizheniya metodom ekspertnykh otsenok // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2019. №1(87). S. 7-10.

15. Sil'yanov V.V., Kapitanov V.T., Monina O.Yu. O sovershenstvovanii setevogo upravleniya transportnymi potokami v intellektual'nykh transportnykh sistemakh / Pod obshchey redaktsiei A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2020. S. 108-113.

16. Kadasev D.A., Petrosyants A.I. Organizatsiya svetofornogo regulirovaniya na perekrestke ulits dlya povysheniya bezopasnosti dvizheniya peshekhodov // Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2022. №1(47). S. 39-48.

17. Lyapin S.A., Kadasev D.A., Voronin N.V. Primenenie informatsionnykh tekhnologiy dlya otsenki vliyaniya intensivnosti dvizheniya transportnykh sredstv na vremya proezda magistrali // Informatsionnye tekhnologii v modelirovanii i upravlenii: podkhody, metody, resheniya: materialy IV Vseross. nauch. konf. s mezhdunar. uch. Tol'yatti. 2021. S. 271-277.

18. Zagidullin R.R., Degtyarev A.A. Primenenie koordinirovannogo upravleniya na magistral'noy uli-tse goroda Kazani - ulitse Vosstaniya // Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2021. №1(20). S. 9.

19. Lyapin S.A., Rizaeva Yu.N., Kadasev D.A. Proaktivnoe upravlenie transportnymi potokami gorodov vykhodyashchimi na avtomagistrali mezhdunarodnykh transportnykh koridorov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №2(73). S. 81-91.

20. Parsaev E.V., Teterina I.A., Kashtalinskiy A.S. Otsenka zagryazneniya atmosfernogo vozdukha transportnymi potokami na peregonakh ulits (na primere g. Omska) // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2018. T. 22. №8(139). S. 181-188. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-8-181-188.

Lyapin Sergey Alexandrovich

Lipetsk State Technical University

Address: 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398055, Russia

Doctor of technical sciences

E-mail: lyapin_sa@stu.lipetsk.ru

Kadasev Dmitry Anatolyevich

Lipetsk State Technical University

Address: 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398055, Russia

Candidate of technical sciences

E-mail: kadasev_da@stu.lipetsk.ru

Dmitriev Semen Anatolyevich

Lipetsk State Technical University

Address: 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398055, Russia

Candidate of technical sciences

E-mail: dmitriev_sa@stu.lipetsk.ru

Voronin Nikita Vladimirovich

Lipetsk State Technical University

Address: 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398055, Russia

Postgraduate student

E-mail: stels650n@mail.ru

Научная статья

УДК 656.086

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-18-26

Е.В. ЛИХАЙРОВА, А.И. ПЕТРОВ

ВЛИЯНИЕ НА РИСК ГИБЕЛИ В ДТП В РОССИЙСКИХ ГОРОДАХ СТРУКТУРНОЙ СПЕЦИФИКИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ АВАРИЙНОСТИ

Аннотация. В статье представлены результаты изучения структурной специфики процессов формирования дорожно-транспортной аварийности в городах - региональных центрах Центрального федерального округа Российской Федерации. Специфика структуры дорожной аварийности рассматривается с позиций количественной оценки риска гибели в ДТП среднестатистического жителя города. Установлено, что риски гибели в ДТП в течение 2023 г. для жителей 17 городов – административных центров Центрального ФО различаются почти в 8 раз. Это очень серьезный уровень вариативности риска гибели в ДТП. Еще одним важным результатом исследований является установление принципиально различной структуры процессов формирования аварийности в различных городах. Этот факт необходимо учитывать при выборе стратегий управления безопасностью дорожного движения в различных городах России.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, дорожно-транспортная аварийность, риски аварийности, риск гибели в ДТП и его составляющие, структурная специфика, Центральный федеральный округ РФ, города – административные центры

Введение

В рамках данной статьи рассматриваются те обстоятельства дорожно-транспортной аварийности, которые зачастую остаются без внимания аналитиков. Привычный для большинства из них анализ дорожно-транспортной аварийности заключается в сравнении каких-либо общих показателей (число дорожно-транспортных происшествий (ДТП), число раненых и погибших в ДТП), характерных для выбранного периода времени (год, месяц года) с аналогами предыдущих временных периодов [1]. Любимая ими аббревиатура АППГ – аналогичный период предыдущего года – используется только для целей простого сравнения, а сам сравнительный метод на основе выявления соотношения X_{i+1} / X_i не позволяет выявить даже общий тренд динамики исследуемых показателей во времени.

Критикуемый нами аналитический подход, основанный на сравнении двух любых количественных показателей, характеризующих безопасность дорожного движения (БДД) – текущего и соответствующего АППГ – не позволяет решать важнейшую задачу аналитики – устанавливать принципиальные различия между механизмами формирования дорожно-транспортной аварийности в различных регионах (или городах) страны. Данный тезис чрезвычайно важен в контексте проблематики необходимости повышения качества управления БДД в России и достижения главной цели управления БДД в стране – снижения уровня Социального риска HR до планового уровня $HR_{РФ-2030} = 4,0$ погибших в ДТП/100 тыс. чел. [2].

Альтернативой в плане аналитики процессов формирования дорожно-транспортной аварийности, простого сравнительного метода является авторская методика выявления специфических структурных особенностей рисков дорожно-транспортной аварийности, основные положения и результаты применения которой представлены в данной статье.

Материал и методы

Понятие «Риск» используется достаточно широко специалистами самых разных сфер жизнедеятельности – от финансистов до специалистов по предотвращению чрезвычайных ситуаций. В этой связи необходимо оговорить дефиницию этого понятия.

Слово «риск» в русский язык было заимствовано из французского, где «*risque*» означает «опасность».

В свою очередь в французский язык это слово попало из греческого, где «*rizikon*» идентифицирует «скалу». Таким образом, современное значение термина «риск», очевидно, имеет природу чувства страха, которое, по мнению древних греков, мог бы испытывать человек, находящийся на высоте, у обрыва.

Достаточно подробно историю этимологии самого концепта «риск» рассматривает Т. Авен в работах [3, 4]. Именно этот автор отмечает, что современная интерпретация этого понятия рассматривает «риск» как сочетание (с точки зрения вычисления – произведение) вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий.

Перенося понятие «риск» в понятийную сферу обеспечения БДД, сформулируем суть понятия «риск дорожно-транспортной аварийности».

Риск дорожно-транспортной аварийности – сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий (ДТП с его негативными свойствами) как результата нарушения требования правил дорожного движения со стороны водителей и пешеходов.

При этом предполагается, что если бы этих нарушений не было, то не было бы и условий для развития дорожных ситуаций до состояния опасных и перерастающих в аварийные.

Рассуждая о специфических структурных особенностях рисков дорожно-транспортной аварийности в различных городах России, необходимо определить и дефиницию понятий «специфика» и «структура».

Понятие «*Специфика*» происходит от латинского *specificus*, что означает «особый», «особенный». Термин «специфика» отображает отличительные, характерные особенности, присущие только данному предмету или явлению.

Понятие «*Структура*» восходит к латинскому *structura*, что означает «строение», «расположение». Данным термином описывают определённую взаимосвязь, взаиморасположение составных частей целого; строение, устройство чего-либо.

Итак, в рамках данного исследования необходимо изучить отличительные характерные особенности устройства процессов формирования риска гибели в ДТП отдельного городского жителя в течение конкретного года *Risk RTA died год*. Для того, чтобы выявить эти специфические черты рисков аварийности, необходимо провести исследования сразу для ряда городов, например, одного Федерального округа. В частности, в рамках данной статьи будет представлена специфика структуры рисков дорожно-транспортной аварийности в городах - административных центрах Центрального федерального округа РФ.

Оценка структурной специфики рисков будет основана на идентификации обычных регрессионных моделей вида $Y = f(X)$, где в качестве предикторов X выступают «Вероятность участия в ДТП в течение года *P RTA год*» и «Последствия ДТП *Cons RTA год*», а в качестве результирующей Y – «Риск гибели в ДТП отдельного городского жителя в течение конкретного года *Risk RTA died год*».

О структурной специфике дорожно-транспортной аварийности в различных городах Центрального федерального округа РФ можно будет судить по локализации экспериментально-расчетной точки, идентифицирующий искомый город, на координатной плоскости и ее расположению относительно графика моделей $Risk RTA died 2023 = f(P RTA 2023)$ и $Risk RTA died 2023 = f(Cons RTA 2023)$.

Теория / Расчет

При рассмотрении методических особенностей расчета рисков аварийности, необходимо начинать с определения сути понятия «последствия наступления неблагоприятных событий». Для дорожно-транспортной аварийности, это, прежде всего смерть участников ДТП. Поэтому последствия ДТП *Cons RTA год* будем определять как (1):

$$Cons RTA год = Sc RTA \cdot Sv RTA, \text{ погибших/ДТП}, \quad (1)$$

где $Sc RTA$ - масштабность ДТП, число пострадавших / 1 ДТП, чел./ДТП;

$Sv RTA$ - тяжесть ДТП, доля погибших среди пострадавших в ДТП.

Масштабность ДТП $Sc RTA$ Тяжесть ДТП $Sv RTA$ определяются как (2) и (3):

$$Sc RTA = N_{Victim} / N_{RTA}, \text{ пострадавших/ДТП}, \quad (2)$$

где N_{Victim} - число пострадавших в ДТП (сумма погибших и травмированных), чел;

N_{RTA} - число ДТП.

$$Sv_{RTA} = N_{died} / N_{Victim}, \quad \text{доля погибших среди пострадавших}, \quad (3)$$

где N_{died} - число погибших в ДТП, чел.

Физический смысл понятия «Последствия ДТП $Cons_{RTA_{год}}$ » заключается в определении удельного числа погибших, приходящихся на одно среднестатистическое ДТП.

Вероятность наступления неблагоприятных событий, в частности ДТП, определяется как (4) и касается участия в абстрактном ДТП отдельного жителя города в течение года $P_{RTA_{год}}$:

$$P_{RTA_{год}} = N_{RTA_{year}} / P, \quad \text{ДТП/чел./год}, \quad (4)$$

где $N_{RTA_{год}}$ - годовое число ДТП в городе, ед.;

P - население города, чел.

Модель оценки риска дорожно-транспортной аварийности предполагает одновременный учет и вероятности и последствий ДТП. Именно поэтому необходимо рассматривать риск аварийности как *риска гибели в ДТП отдельного жителя города* в течение конкретного года $Risk_{RTA_{died_{год}}}$ (5):

$$Risk_{RTA_{died_{год}}} = P_{RTA_{год}} \cdot Cons_{RTA_{год}}, \quad 1/год, \quad (5)$$

где $P_{RTA_{год}}$ - вероятность (по отношению к отдельной персоне) попадания в ДТП в течение года;

$Cons_{RTA_{год}}$ - последствия ДТП.

Результаты

На основе исходных данных о дорожно-транспортной аварийности (2023), полученных на сайте ГИБДД МВД РФ [1] для систем обеспечения БДД городов - региональных центров Центрального федерального округа РФ были рассчитаны фактические значения показателей «Вероятность участия в ДТП $P_{RTA_{2023}}$ », «Последствия ДТП $Cons_{RTA_{2023}}$ » и «Риск гибели в ДТП $Risk_{RTA_{died_{2023}}}$ » (табл. 1).

Таблица 1 - Расчетные значения характеристик рисков аварийности в городах - административных центрах Центрального ФО РФ

Города – центры субъектов Центрального ФО РФ	Численные значения (2023) показателей						
	Население города, чел.	Число ДТП, ед.	Вероятность участия в ДТП, ДТП/чел./год	Масштабность ДТП S_{RTA} , пострадад./ДТП	Тяжесть ДТП Sv_{RTA} , доля погибших среди пострадавших	Последствия ДТП $Cons_{RTA}$, погибших/ДТП	Риск гибели в ДТП $Risk_{RTA_{died}}$, 1/год
Белгород	333931	208	0,000623	1,225962	0,019608	0,024039	0,0000149
Брянск	375669	211	0,000562	1,293839	0,040293	0,052133	0,0000293
Владимир	346771	440	0,001269	1,220455	0,033520	0,040910	0,0000519
Воронеж	1051995	1068	0,001015	1,255618	0,037286	0,046817	0,0000475
Иваново	360687	491	0,001361	1,268839	0,035313	0,044807	0,0000610
Калуга	333954	360	0,001078	1,336111	0,016632	0,022222	0,0000239
Кострома	265965	387	0,001455	1,211886	0,021322	0,025840	0,0000376
Курск	434703	379	0,000872	1,311346	0,026157	0,034301	0,0000299
Липецк	490428	493	0,001005	1,259635	0,051530	0,064909	0,0000652
Москва	13104177	8118	0,000619	1,146465	0,032986	0,037817	0,0000234
Орел	296633	251	0,000846	1,183267	0,040404	0,047809	0,0000404
Рязань	523203	717	0,001370	1,343096	0,024922	0,033473	0,0000458
Смоленск	312896	374	0,001195	1,245989	0,023605	0,029412	0,0000351
Тамбов	291454	469	0,001609	1,300640	0,013115	0,017058	0,0000274
Тверь	414756	441	0,001063	1,172336	0,030948	0,036281	0,0000386
Тула	466609	689	0,001477	1,274311	0,062642	0,079825	0,0001179
Ярославль	570824	626	0,001097	1,209265	0,030383	0,036741	0,0000402

Необходимо указать, что Риск гибели в ДТП $Risk_{RTA_{died_{2023}}$ рассчитан в отношении одного конкретного года (2023) и в отношении некоего среднестатистического жителя города. Для оценки риска гибели в ДТП $Risk_{RTA_{died}}$ в течение всей жизни, необходимо данную величину умножить на ожидаемое число лет жизни среднестатистического жителя города. Например, при продолжительности жизни $T_{жизни} = 80$ лет, риск гибели в ДТП в течение жизни, например, для жителя Москвы составляет $Risk_{RTA_{died_{0...80}}} = 0,0000234 \times 80 = 0,001872$. А

риск участия в ДТП для среднестатистического москвича, в свою очередь, определяется как $P_{RTA\ 0...80} = 0,000619 \times 80 = 0,0495$. Т.е. в течение жизни около 5 % москвичей ощутят на себе все невзгоды участия в ДТП.

На рисунке 1 представлено иерархическое распределение значений (2023) характеристики «Риск гибели в ДТП $Risk_{RTA\ died}$ » в городах – административных центрах Центрального федерального округа РФ.

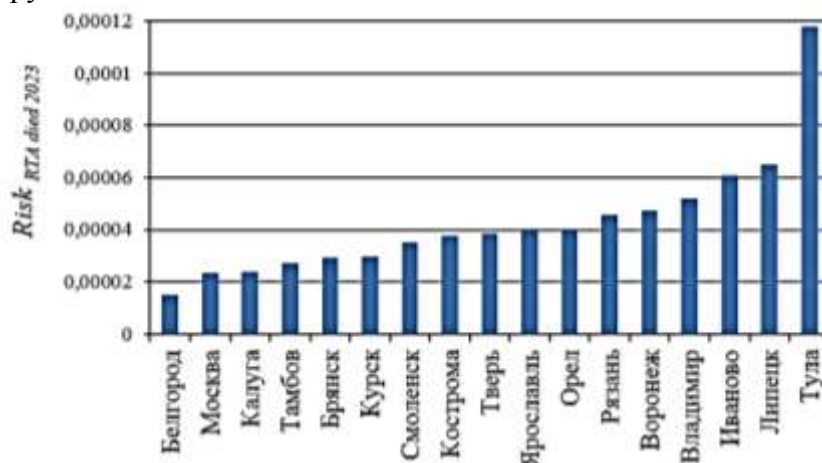


Рисунок 1 – Гистограмма распределения значений характеристики $Risk_{RTA\ died\ 2023}$ в городах - региональных центрах Центрального ФО РФ (2023)

Сравнение максимальных и минимальных значений рисков гибели в ДТП отдельного жителя города в течение конкретного года $Risk_{RTA\ died\ 2023}$ показало, что $Risk_{RTA\ died\ 2023\ max} / Risk_{RTA\ died\ 2023\ min} = 0,0001179$ (Тула) / $0,0000149$ (Белгород) = 7,91. Данный расчет показывает, что риски гибели в ДТП в течение 2023 г. для жителей 17 городов – административных центров Центрального ФО различаются почти в 8 раз. Это очень серьезный уровень вариативности риска гибели в ДТП.

Аналогичные гистограммы распределения значений характеристик «Вероятность участия в ДТП $P_{RTA\ 2023}$ » и «Последствия ДТП $Cons_{RTA\ 2023}$ » представлены на рисунках 2 и 3.

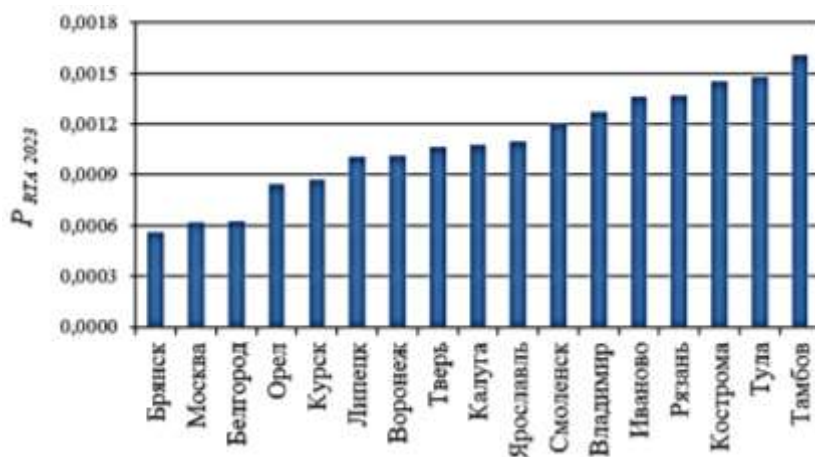


Рисунок 2 – Гистограмма распределения значений $P_{RTA\ 2023}$ в городах - региональных центрах Центрального ФО РФ (2023)

Проанализируем данные таблицы 1, рисунков 2 и 3 в отношении соотношений между максимальными и минимальными значениями характеристик – составляющих риска.

Максимальное значение $P_{RTA\ 2023}$ характерно для Тамбова (0,001609 ДТП/чел./год), минимальное – для Брянска (0,000562 ДТП/чел./год). Соотношение $P_{RTA\ 2023\ max} / P_{RTA\ 2023\ min} = 2,86$.

Максимальное значение $Cons_{RTA\ 2023}$ характерно для Тулы (0,079825 погибших/ДТП), минимальное – для Тамбова (0,017058 погибших/ДТП). Соотношение $Cons_{RTA\ 2023\ max} / Cons_{RTA\ 2023\ min} = 4,68$.

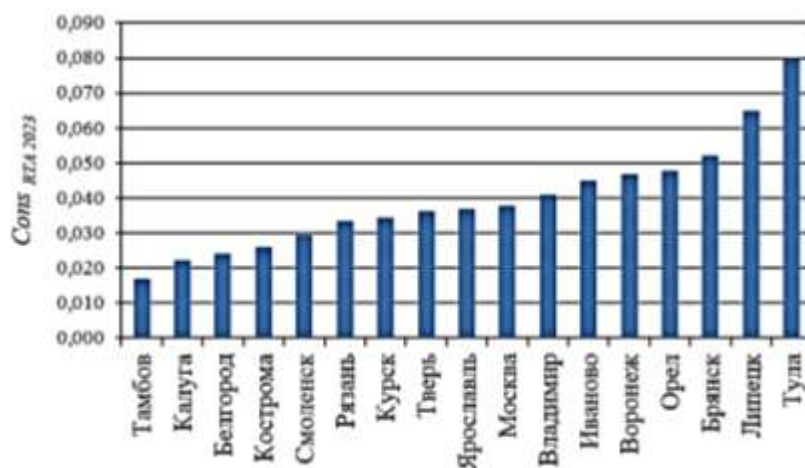


Рисунок 3 – Гистограмма распределения значений $Cons_{RTA\ 2023}$ в городах - региональных центрах Центрального ФО РФ (2023)

Также обращает на себя иерархическое противопоставление рангов Тамбова в совокупностях значений $P_{RTA\ 2023}$ (наивысший ранг) и $Cons_{RTA\ 2023}$ (наименьший ранг). Принципиально другая картина характерна для Брянска. По характеристике $P_{RTA\ 2023}$ для этого города характерен наименьший ранг, а по характеристике $Cons_{RTA\ 2023}$ – один из самых высших. Таким образом, в Тамбове и Брянске принципиально по-разному формируются процессы дорожно-транспортной аварийности и связано это, скорее всего, с особенностями организации и управления БДД. Осознание этого факта рисует следующую картину. В Брянске вероятность участия в ДТП невысока и связано, это, скорее всего, с низким уровнем автомобилизации и сравнительно низкой интенсивностью движения на улично-дорожной сети города. Зато, если среднестатистическое ДТП случается, то последствия этого ДТП весьма серьезны – каждый 19-ый участник среднестатистического ДТП погибает. В Тамбове ситуация зеркально обратная. Вероятность участия в ДТП достаточно высокая, но при этом погибает лишь каждый 59-ый участник среднестатистического ДТП. Причинами этих межгородских различий могут быть принципиальные различия в уровнях автомобилизации в сравниваемых городах, в технологиях организации дорожного движения, в ресурсно-организационных возможностях оказания скорой медицинской помощи. Главное, что нужно отметить, для Брянска и Тамбова характерно наличие специфических структурных особенностей процессов формирования дорожно-транспортной аварийности.

Важно отметить и то, что при совместном учете $P_{RTA\ 2023}$ и $Cons_{RTA\ 2023}$, сутью которого с точки зрения вычисления является произведение этих частных характеристик, итоговые характеристики «Риск гибели в ДТП отдельного жителя города в течение конкретного года $Risk_{RTA\ died\ 2023}$ » для этих городов чрезвычайно близки (табл. 1, рис. 1) и занимают 4 и 5 ранги из 17 имеющихся. В процессе совместного учета $P_{RTA\ 2023}$ и $Cons_{RTA\ 2023}$ происходит суперкомпенсация недостатков одного показателя достоинствами другого. Как следствие, $Risk_{RTA\ died\ 2023}$, рассчитанные для Брянска и Тамбова, близки по величине.

Принципиально другая ситуация характерна для систем обеспечения БДД Тулы и Белгорода. Однако Тула и Белгород относятся к городам антиподам.

Ситуация в Туле максимально плоха, в сравнении с другими сравниваемыми городами, по обоим частным составляющим риска ($P_{RTA\ 2023}$ и $Cons_{RTA\ 2023}$). Следствием этого является максимальный из всех 17 городов уровень риска гибели в ДТП $Risk_{RTA\ died\ 2023}$ (табл. 1, рис. 1).

В Белгороде, напротив, относительно невысоки значения как $P_{RTA\ 2023}$, так и $Cons_{RTA\ 2023}$. Как следствие этого, совокупный учет обеих составляющих риска способствует минимальному из всех 17 городов итоговому уровню риска гибели в ДТП отдельного жителя города $Risk_{RTA\ died\ 2023}$.

Эти два примера тоже являются своего рода свидетельством специфики структурных особенностей процессов формирования дорожно-транспортной аварийности, но уже другого рода.

Оценим уровень статистического влияния частных составляющих рисков – $P_{RTA\ 2023}$ и

$Cons_{RTA\ 2023}$ — непосредственно на $Risk_{RTA\ died\ 2023}$.

На рисунках 4 и 5 представлены графические изображения зависимостей $Risk_{RTA\ died\ 2023} = f(P_{RTA\ 2023})$ и $Risk_{RTA\ died\ 2023} = f(Cons_{RTA\ 2023})$.

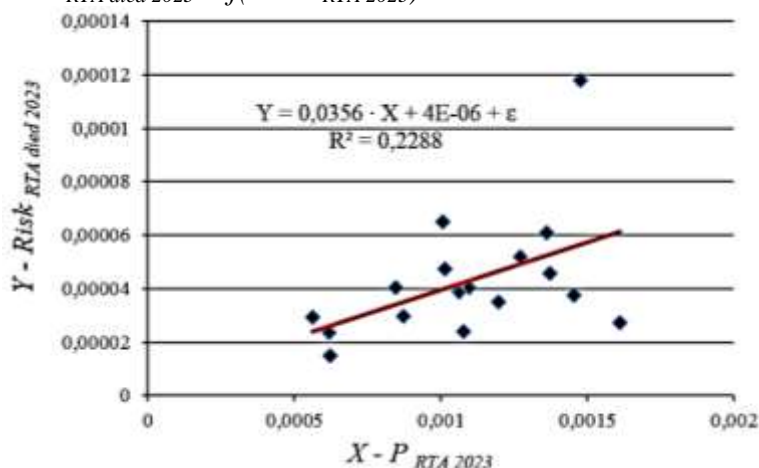


Рисунок 4 – Зависимость $Risk_{RTA\ died\ 2023} = f(P_{RTA\ 2023})$ для городов - региональных центров Центрального ФО РФ (2023)

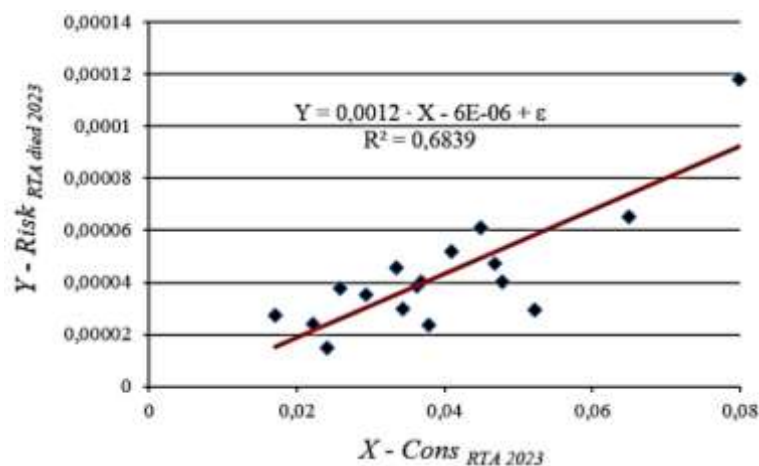


Рисунок 5 – Зависимость $Risk_{RTA\ died\ 2023} = f(Cons_{RTA\ 2023})$ для городов - региональных центров Центрального ФО РФ (2023)

Учитывая физический смысл модели оценки риска гибели в ДТП отдельного жителя города в течение конкретного года $Risk_{RTA\ died\ год}$ (5), естественно, что $Risk_{RTA\ died\ год}$ повышается с ростом частных составляющих этой комплексной характеристики - $P_{RTA\ 2023}$ и $Cons_{RTA\ 2023}$.

Обсуждение

Важнейший вывод, который можно сделать из материалов, представленных в рамках раздела «Результаты» данной статьи, заключается, прежде всего, в установлении структурной специфики рисков гибели в ДТП, реально существующей в различных городах России. Однако этот вывод должен послужить основой для выработки организационно-управленческих решений, реализация которых позволит снизить риски дорожно-транспортной аварийности и значимо повлияют на повышение БДД в стране.

Известно [5, 6], что сегодня три четверти (около 75 %) всех ДТП в России происходят на территории городов и населенных пунктов, при том, что в городских ДТП погибает 45 % жертв ДТП. На долю ДТП, локализованных вне населенных пунктов (всего их около 25 %), приходится 55 % погибших в ДТП. Это известный факт, свидетельствующий о значительно более высокой тяжести ДТП, происходящих на федеральных, региональных и местных дорогах, локализованных вне населенных пунктов. Трехкратная разница (2022 г.) в тяжести последствий таких ДТП (14,9 % погибших среди пострадавших против 5,3 % погибших среди пострадавших) красноречиво описывает механизмы гибели в ДТП при формировании гигантских энергий, реализуемых в результате столкновений, опрокидываний и других видов ДТП на загородных трассах. Однако попробуем эти рассуждения перенести на материал данного исследования.

Представим себе, что структурная специфика дорожно-транспортной аварийности является следствием условий движения транспортных и пешеходных потоков, реально сложившихся в каких-либо конкретных городах [7]. Эти условия могут быть как следствием специфической для города трудовой занятости ее населения [8] или уровня фактической автомобилизации [9], особенностей развития улично-дорожной сети транспортной системы города [9] или множества других факторов внешней среды [10-12]. Так, аномально низкий, по сравнению с другими городами Центрального ФО, уровень вероятности участия в ДТП для жителей Брянска (0,000562 ДТП/чел./год) может быть объяснен самым низким уровнем автомобилизации именно в Брянской области [1]. Низкий уровень автомобилизации подразумевает сравнительно свободные условия движения, а значит и относительно высокие скорости движения, относительно низкий уровень хаотичности состояния транспортной системы и, как следствие этого, наличие широкого круга возможностей для формирования достаточно редких с позиций вероятности события, но тяжелых по последствиям ДТП [13]. Напротив, в Тамбове вероятность ДТП почти в 3 раза выше, чем в Брянске и одной из основных причин этого может быть как раз более высокий уровень автомобилизации [1], способствующий формированию связанных режимов движения, хаотичных по своему механизму формирования, характеризующихся относительно невысокими скоростями движения. В этих условиях тяжесть последствий ДТП всегда ниже, чем в условиях свободного режима движения [13].

На фоне этих рассуждений некоторое недоумение возникает при анализе ситуации в сфере обеспечения БДД в Туле. На фоне других городов Тула выглядит как абсолютный аутсайдер по всем частным составляющим рисков аварийности (рис. 1-3). При высокой вероятности участия в ДТП P_{RTA} одновременно формируются и высокие значения характеристики «Последствия ДТП $Cons_{RTA}$ ». Этот факт является скорее свидетельством некой объективной статистической аномалии, либо свидетельством какого то исключения из общего правила. Не исключено, что это связано и влиянием на систему обеспечения БДД в городе личностного фактора – например, особенностей представлений о принципах обеспечения БДД в городе со сторону руководителя управляющего органа – областной (городской) ГИБДД.

Выводы

Резюмируя, отметим следующие основные выводы.

1. Риски дорожно-транспортной аварийности - понятие, используемое для аналитики дорожно-транспортной аварийности в России достаточно редко. Анализ показывает, что исследовательских работ, посвященных рискам аварийности в городах (регионах) России, практически нет.

2. Понятие «Риск дорожно-транспортной аварийности» реализуется посредством оценки риска гибели среднестатистического жителя города в ДТП $Risk_{RTA\ died}$ в течение конкретного года. В свою очередь характеристика «Риск гибели в ДТП $Risk_{RTA\ died}$ » является сложной составной характеристикой, суть которой в одновременном учете «Вероятность участия в ДТП в течение года P_{RTA} » и «Последствий ДТП $Cons_{RTA}$ ».

3. В рамках данного исследования были оценены количественные характеристики всех трех характеристик дорожно-транспортных рисков - P_{RTA} , $Cons_{RTA}$ и $Risk_{RTA\ died}$ для систем обеспечения БДД в 17 городах – административных центрах Центрального федерального округа РФ. Установлено, что риски гибели в ДТП $Risk_{RTA\ died}$ в течение 2023 г. для жителей 17 городов – административных центров Центрального федерального округа РФ различаются почти в 8 раз. Максимальный уровень риска гибели в ДТП в течение 2023 г. $Risk_{RTA\ died\ 2023}$ характерен для Тулы; минимальный – для Белгорода.

4. Соотношение для городских систем обеспечения БДД частных показателей риска $P_{RTA\ 2023\ max}/P_{RTA\ 2023\ min} = 2,86$. Аналогичное соотношение $Cons_{RTA\ 2023\ max}/Cons_{RTA\ 2023\ min} = 4,68$.

5. Установлено, что существует четыре варианта структурной специфики рисков аварийности. Яркими примерами каждого из них могут быть Брянск (минимальный уровень Вероятности участия в ДТП P_{RTA} и максимальный уровень Последствий ДТП $Cons_{RTA}$); Тамбов (максимальный уровень Вероятности участия в ДТП P_{RTA} и минимальный уровень Последствий ДТП $Cons_{RTA}$); Тула (очень высокие уровни как Вероятности участия в ДТП P_{RTA} , так и уровня Последствий ДТП $Cons_{RTA}$); Белгород (низкие уровни как Вероятности участия в ДТП P_{RTA} , так и уровня Последствий ДТП $Cons_{RTA}$).

6. Знание структурной специфики дорожно-транспортной аварийности может служить основой для оптимизации выбора инструментария управления БДД в конкретных городах. Так, для Брянска необходимо всячески способствовать снижению уровня Последствий

ДТП $Cons_{RTA}$, а критическим фактором аварийности в Тамбове является высокий уровень Вероятности участия в ДТП P_{RTA} . Именно профессиональное внимание к этим аспектам формирования дорожно-транспортной аварийности может способствовать снижению рисков аварийности [14-18].

7. В рамках данного исследования также представлены зависимости $Risk_{RTA\ died\ 2023} = f(P_{RTA\ 2023})$ и $Risk_{RTA\ died\ 2023} = f(Cons_{RTA\ 2023})$, которые также должны быть приняты во внимание при управлении БДД в городах – региональных центрах Центрального федерального округа РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Показатели состояния БДД: Официальный сайт ГИБДД МВД РФ [Электронный документ]. URL: <https://stat.gibdd.ru/>.
2. Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018-2024 гг.: Распоряжение Правительства РФ от 8.01.2018 г. №1-р. [Электронный документ]. URL: <http://static.government.ru/media/files/g6BXGgDI4fCEiD4xDdJUwIxudPATBC12.pdf>.
3. Aven T. A semi-quantitative approach to risk analysis, as an alternative to QRAs // Reliability Engineering and System Safety. 2008. 93. P. 768-775. doi:10.1016/j.ress.2007.03.025.
4. Aven T. The risk concept - historical and recent development trends // Reliability Engineering and System Safety. 2012. Vol. 99(3). P. 33-44. doi:10.1016/j.ress.2011.11.006.
5. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2021 год. Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России». 2022. 126 с.
6. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2022 год: Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России». 2023. 150 с.
7. Kolesov V.I., Danilov O.F., Petrov A.I. Specific features of goal setting in road traffic safety // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. 012059. doi:10.1088/1755-1315/90/1/012059.
8. Петров А.И. Автотранспортная аварийность в различных странах мира как производная от трудовой занятости граждан // Научное обозрение. 2015. №19. С. 418-423.
9. Elvik R., Goel R. Safety-in-numbers: An updated meta-analysis of estimates // Accident Analysis & Prevention. 2019. Vol. 129. P.136-147. doi:10.1016/j.aap.2019.05.019.
10. Кравченко П.А. Организация и безопасность дорожного движения в больших городах // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. №1(64). С. 1-2.
11. Zhankaziev S.V., Vorobyev A.I., Morozov D.Y., Novikov A.N., Kulev A.V. Efficiency of operation and functioning of the system of an indirect transport flow regulation and control // International journal of applied engineering research. 2017. Vol. 12. №13. P. 3645-3652.
12. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city // Journal of applied engineering science. 2019. Vol. 17. №2. P. 175-181.
13. Morozov V., Petrov A.I., Shepelev V., Balfaqih M. Ideology of Urban Road Transport Chaos and Accident Risk Management for Sustainable Transport Systems // Sustainability. 2024. Vol. 16(6). P. 2596. doi:10.3390/su16062596.
14. Ешуткин Д.Н., Кулев М.В. Анализ проблем экологической и дорожной безопасности автотранспортных средств в России // Мир транспорта и технологических машин. 2009. №3(26). С. 79-82.
15. 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.
16. Новиков А.Н., Еремин С.В., Ломакин Д.О. Оценка уровня безопасности дорожного движения на региональном уровне // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №3(70). С. 72-79.
17. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения. Белгород: Белгородский госуд. технологич. университет им. В.Г. Шухова. 2021. 108 с.
18. 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.

Лихайрова Евгения Владимировна

Тюменский индустриальный университет

Адрес: 625027, Россия, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72-221

Аспирант, специалист кафедры эксплуатации автомобильного транспорта

E-mail: lihajrovaev@tyuiu.ru

Петров Артур Игоревич

Тюменский индустриальный университет

Адрес: 625027, Россия, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72-221

К.т.н., доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта

E-mail: artigpetrov@yandex.ru

IMPACT OF THE STRUCTURAL SPECIFICS OF ROAD ACCIDENTS RATE ON THE RISK OF DEATH IN ROAD TRAFFIC ACCIDENTS IN RUSSIAN CITIES

Abstract. The article presents the results of studying the structural specifics of the processes of formation of road traffic accidents rate in the cities - regional centers of the Central Federal District of the Russian Federation. The specifics of the structure of road accidents are considered from the standpoint of quantifying the risk of death in an accident of an average resident of the city. It was found that the risks of death in an accident during 2023 for residents of 17 cities – administrative centers of the Central Federal District differ by almost 8 times. This is a very serious level of variability in the risk of death in an accident. Another important result of the research is the establishment of a fundamentally different structure of the processes of accident formation in different cities. This fact must be taken into account when choosing road safety management strategies in various Russian cities.

Keywords: Road safety, road traffic accidents rate, accident risks, the risk of death in an accident and its components, structural specifics, the Central Federal District of the Russian Federation, cities – administrative centers

BIBLIOGRAPHY

1. Pokazateli sostoyaniya BDD: Ofitsial'nyy sayt GIBDD MVD RF [Elektronnyy dokument]. URL: <https://stat.gibdd.ru/>.
2. Strategiya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii na 2018-2024 gg.: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 8.01.2018 g. №1-r. [Elektronnyy dokument]. URL: <http://static.government.ru/media/files/g6BXGgDI4fCEiD4xDdJUwIudPATBC12.pdf>.
3. Aven T. A semiquantitative approach to risk analysis, as an alternative to QRAs // Reliability Engineering and System Safety. 2008. 93. P. 768-775. doi:10.1016/j.ress.2007.03.025.
4. Aven T. The risk concept - historical and recent development trends // Reliability Engineering and System Safety. 2012. Vol. 99(3). P. 33-44. doi:10.1016/j.ress.2011.11.006.
5. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii za 2021 god. Informatsionno-analiticheskii obzor. M.: FKU «NTS BDD MVD Rossii». 2022. 126 s.
6. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii za 2022 god: Informatsionno-analiticheskii obzor. M.: FKU «NTS BDD MVD Rossii». 2023. 150 s.
7. Kolesov V.I., Danilov O.F., Petrov A.I. Specific features of goal setting in road traffic safety // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. 012059. doi:10.1088/1755-1315/90/1/012059.
8. Petrov A.I. Avtotransportnaya avariynost' v razlichnykh stranakh mira kak proizvodnaya ot trudovoy zanyatosti grazhdan // Nauchnoe obozrenie. 2015. №19. S. 418-423.
9. Elvik R., Goel R. Safety-in-numbers: An updated meta-analysis of estimates // Accident Analysis & Prevention. 2019. Vol. 129. P.136-147. doi:10.1016/j.aap.2019.05.019.
10. Kravchenko P.A. Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v bol'shikh gorodakh // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2013. №1(64). S. 1-2.
11. Zhankaziev S.V., Vorobyev A.I., Morozov D.Y., Novikov A.N., Kulev A.V. Efficiency of operation and functioning of the system of an indirect transport flow regulation and control // International journal of applied engineering research. 2017. Vol. 12. №13. P. 3645-3652.
12. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city // Journal of applied engineering science. 2019. Vol. 17. №2. P. 175-181.
13. Morozov V., Petrov A.I., Shepelev V., Balfaqih M. Ideology of Urban Road Transport Chaos and Accident Risk Management for Sustainable Transport Systems // Sustainability. 2024. Vol. 16(6). P. 2596. doi:10.3390/su16062596.
14. Eshutkin D.N., Kulev M.V. Analiz problem ekologicheskoy i dorozhnoy bezopasnosti avtotransportnykh sredstv v Rossii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2009. №3(26). S. 79-82.
15. 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.
16. Novikov A.N., Eremin S.V., Lomakin D.O. Otsenka urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na regional'nom urovne // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №3(70). S. 72-79.
17. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Belgorod: Belgorodskiy gosud. tekhnologich. universitet im. V.G. Shukhova. 2021. 108 s.
18. Novikov A.N., Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Novikov I.A. Analiz sushchestvuyushchikh metodov otsenki ve-royatnosti vozniknoveniya DTP na uchastkakh ulichno-dorozhnoy seti goroda // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2021. №2(85). S. 222-231.

Likhayrova Evgeniya Vladimirovna

Industrial University of Tyumen

Address: 625027, Russia, Tyumen, Mel'nikayte str.

Postgraduate student

E-mail: lihajrovaev@tyuiu.ru

Petrov Artur Igorevich

Industrial University of Tyumen

Address: 625027, Russia, Tyumen, Mel'nikayte str.

Candidate of technical sciences

E-mail: artigpetrov@yandex.ru

Научная статья

УДК 656:78

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-27-33

В.Е. МАРЧЕНКО, В.В. СТРАШНОЙ

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Аннотация. В нынешних условиях развития экономики любое промышленное предприятие работает над повышением эффективности своей деятельности, в частности, путём внедрения в производственную систему логистических инноваций, способствующих уменьшению затрат и увеличению объёмов выпускаемой продукции. Именно на этой методике основаны логистические принципы «бережливого производства». В данной работе рассмотрена концепция «бережливого производства», напрямую влияющая на уменьшение потерь, снижение производственных затрат и оптимизацию основных процессов складской логистики, и как следствие, повышение качества производимой продукции, а также представлена модель плана создания «бережливого склада».

Ключевые слова: бережливое производство, логистические инновации, lean-технологии, логистическая система, бережливый склад, складская логистика

Введение

В нынешних тенденциях развития современного мира, для сохранения конкурентоспособности и удерживания высоких позиций в своей нише, крупным промышленным предприятиям необходимо уметь своевременно адаптироваться под постоянно меняющиеся условия рыночной экономики страны и всего мира. Ключевым принципом «бережливого производства» является оптимизация каждого этапа производственного процесса с целью устранения потерь. Уже сейчас можно сказать, что «бережливое производство» является неотъемлемой частью современного бизнеса и способствует устойчивому развитию предприятий.

Целью работы является анализ функционирования системы складской логистики промышленного предприятия с целью оценки возможности её оптимизации путём разработки модели «бережливого склада».

Исследование проводилось на основе национальных стандартов ГОСТ по бережливому производству, а также на основании корпоративных документов и статистики предприятия ООО «ТМХ-Электротех».

Логистика входит в полный цикл деятельности предприятия и играет ключевую роль в конкурентоспособности предприятия. Логистическая стратегия предприятия заключается в обеспечении потребности материальных потоков, что в долгосрочной перспективе гарантирует удержание ведущих позиций в бизнесе. Выделяют несколько направлений влияния логистических процессов на эффективность предприятия:

1) сокращение логистических издержек. Минимизация расходов на хранение, транспортировку, управление запасами позволяет предприятию высвободить дополнительные ресурсы и направить их на развитие производства, в инвестирование НИОКР и другие направления, способствующие повышению конкурентоспособности;

2) повышение уровня сервиса. Эффективная логистика обеспечивает своевременную доставку материалов к участкам производства, сокращает время выполнения заказов, повышает точность поставок. Это приводит к увеличению объёмов производства и расширению доли рынка.

Организация эффективной логистики складского хозяйства является одним из ключевых направлений в развитии промышленных предприятий. Для достижения оптимального функционирования склада необходимо учесть несколько факторов:

© В.Е. МАРЧЕНКО, В.В. СТРАШНОЙ, 2024

1) расположение склада. Расположение склада должно быть выбрано с учётом логистических потоков и доступности транспортных коммуникаций. Это позволит сократить время доставки материалов и улучшить общую эффективность логистической системы предприятия;

2) расчёт полезной площади склада. Правильный и полный расчёт позволит оптимизировать использование пространства;

3) оснащение склада. Современное оснащение, включая автоматизированные системы хранения, перемещения и учёта материалов также способствуют увеличению эффективности работы склада.

Применение современных технологий и методов организации является неотъемлемой частью развития складского хозяйства. Так, использование логистических принципов оптимизации производства позволяет сократить время выполнения единицы заказа продукции.

Теория

Бережливое производство (англ. leanproduction – «стройный») – система управления производственной системой предприятия, которая основана на непрерывном сокращении всех видов производственных потерь [1].

Основными особенностями системы «бережливого производства» является [1]:

- работа в команде;
- свободный обмен информацией;
- эффективное использование продуктов и минимизация потерь;
- постоянное совершенствование.

Бережливое производство – современное и эффективное средство для борьбы с потерями и потреблением материальных ресурсов, которое не приносит эффективности [3].

Рассмотрим модель системы бережливого производства, представленную на рисунке 1.



Рисунок 1 – Модель системы «Бережливое производство»

Основная задача любого промышленного предприятия – экономия ресурсов. Для эффективной работы производственной системы любого промышленного предприятия необходимо выявлять и своевременно устранять потери, которые возникают ежедневно.

Система «бережливый склад» - гибкая логистическая система процессов движения товарно-материальных ценностей всех производственных участков, основанная на принципах «бережливого производства» [8].

Рассмотрим основные виды складских потерь:

- 1) потери из-за лишних перемещений на складе;
- 2) потери из-за малооборачиваемости материалов, возникающие из-за превышающего потребность основного производства количества товарно-материальных ценностей;

3) потери из-за содержания неиспользуемых площадей, которые возникают из-за неправильного расчёта полезной площади склада;

4) потери из-за ожидания, которые возникают из-за отсутствия ритмичности работы и приводящие к простоям оборудования, или же из-за задержек оформления документации, что в свою очередь негативно сказывается на выполнении плана производства и получения положительного финансового результата.

Внедрение «бережливого склада» поможет минимизировать складские потери всех видов и повысить уровень развития производственной системы промышленного предприятия. Это требует системного подхода и постоянного улучшения складских процессов, а также активного участия всего персонала в достижении поставленных целей.

Материал и методы

Рассмотрим внедрение логистических инструментов «бережливого производства» на примере ООО «ТМХ-Электротех», входящего в группу компаний АО «Трансмашхолдинг».

ООО «ТМХ-Электротех» - промышленное предприятие, занимающее ключевые позиции в России по технологической оснащённости, которое производит выпуск тяговых электродвигателей для локомотивов всех типов. Производственная система такого предприятия представляет собой уникальное сочетание непрерывного производства, высоких технологий и многоступенчатых процессов. Такая система обеспечивает максимальную эффективность и высокое качество выпускаемой продукции. Это позволяет ООО «ТМХ-Электротех» быть конкурентоспособным, эффективным и успешным на рынке. Рассмотрим основные виды потерь ООО «ТМХ-Электротех» и методы их оценки, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Виды потерь ООО «ТМХ-Электротех»

Тип потерь	Способы выявления потерь	Источники получения информации
Потери при перепроизводстве	Проведение годовой инвентаризация	Инвентаризационные описи, сличительные ведомости
Потери из-за лишних запасов	Проведение годовой инвентаризация	Инвентаризационные описи, сличительные ведомости
Потери из-за лишних перемещений	Проведение хронометража причастных сотрудников	Карты хронометража
Потери из-за ожидания	Проведение хронометража причастных сотрудников	Карты хронометража

На сегодняшний день в ООО «ТМХ-Электротех» внедрены следующие инструменты «бережливого производства»:

- метод 5S – цепь последовательных логичных мероприятий, устанавливающих основополагающие правила упорядочения производственной системы [12]. Непрерывное совершенствование производственных процессов методом 5S в значительной степени облегчает процесс внедрения других методов «бережливого производства»;

- внедрение предложений по улучшению производимых работ в основных производственных цехах. Рассмотрим статистику предложений по улучшениям (ППУ) ООО «ТМХ-Электротех» за 2023 год, представленную в таблице 2.

Таблица 2- Статистика предложений по улучшениям (ППУ) ООО «ТМХ-Электротех» за 2023 год

Цех	1-4 квартал 2023		Эффект				
	Плановое кол-во предложений	Кол-во внедрённых предложений	Р (рубли)	м ² (площадь)	Т (время)	К (кол-во улучшений по качеству)	ОТ (кол-во улучшений по охране труда)
48	370	248	272 746,00	37,1	91,2	44	81
53	335	89	42 459,50	18	40	24	51
54	167	139	176 436,00	35	129,5	15	71
Итого:	872	476	491 642,00	90,1	260,7	83	203

- разработка карты потока создания ценности (КПСЦ) –мероприятие по разработке схемы всех этапов материальных и информационных потоков производственной системы предприятия. В таблице 3 приведён экономический эффект от внедрения системы КПСЦ на предприятии ООО «ТМХ-Электротех»:

Таблица 3 - Экономический эффект от достижения заданного состояния КПСЦ 2023 г.

Эффект	На выпуск 2023г., рублей	Экономия, рублей	В процентном выражении, %
Снижение трудоёмкости	107 207 165,00	1 595 831,00	1,5
Снижение материалоемкости	13 636 363 636,00	15 000 000,00	0,11
Итого:		16 595 831,00	

Складское хозяйство ООО «ТМХ-Электротех» представляет собой комплекс кладовых, обеспечивающих основное производство сырьём и материалами. Расположение кладовых покупных комплектующих изделий не оптимизированы под местоположение основных цехов, доставка материалов осуществляется по заказам на перемещение. Необходимость модернизации складского хозяйства также обусловлена созданием эталонной линии производства электрических машин разных типов, основной задачей которой является рост производительности линии сборки.

Создание «бережливого склада» на предприятии поспособствует повышению уровня обеспеченности основного производства материалами в соответствии с принципом «точно вовремя». Кроме того, будет обеспечена адаптивная поставка материалов на каждый сборочный пост точно ко времени начала сборочной операции.

На основании проведённого анализа были определены следующие методы оптимизации потерь:

1) сокращение числа операций на складе. Для уменьшения времени обработки и комплектации каждой поставки необходимо проанализировать каждую выполняемую операцию и исключить повторяющиеся;

2) анализ топологии склада. Такой анализ позволяет оптимально организовать зоны хранения для эффективного использования площади;

3) оптимизация мест хранения материалов. Для проведения оптимизации используется «ABC-анализ» товаров, который позволяет рассортировать материалы по степени хранения;

4) оптимизация погрузки на складе. Загрузка товарами на складе должна осуществляться таким способом, чтобы при разгрузке не приходилось выполнять лишние манипуляции по перемещению грузов внутри транспортного средства.

Модель

После проведения исследования складского комплекса и утверждения проекта создания «бережливого склада» был составлен план мероприятий, представленный на рисунке 2.

Данная модель определяет основные этапы реализации проекта по организации склада для обеспечения материальными потоками будущую эталонную линию производства, позволяет определить возможные риски, возникающие во время реализации этапов проекта. При обсуждении модели были установлены сроки выполнения каждого мероприятия.

Расчёты

Взяв за основу описанную на рисунке 2 модель «бережливого склада» можно предварительно дать экспертную оценку экономии денежных средств после начала его работы при условии внедрения логистических инноваций и перехода к работе с документацией в адаптированную систему 1С: ERP. Ниже представлены предварительные расчёты эффективности от внедрения «бережливого склада».

$$Э_1 = (T_{\text{док}} + T_{\text{согл}}) \cdot N_{\text{мес}} \cdot ЗП_{\text{час}}, \quad (24,5+8) \cdot 12 \cdot 264,56 = 103\,178,4 \text{ руб.}$$

где $T_{\text{док}}$ - время, затрачиваемое на составление отчётов и проведение отчётов в системе;

$T_{\text{согл}}$ - время, затрачиваемое на сдачу отчётов в бумажном виде;

$N_{\text{мес}}$ - количество рабочих месяцев;

$ЗП_{\text{час}}$ - часовая ставка рабочих.

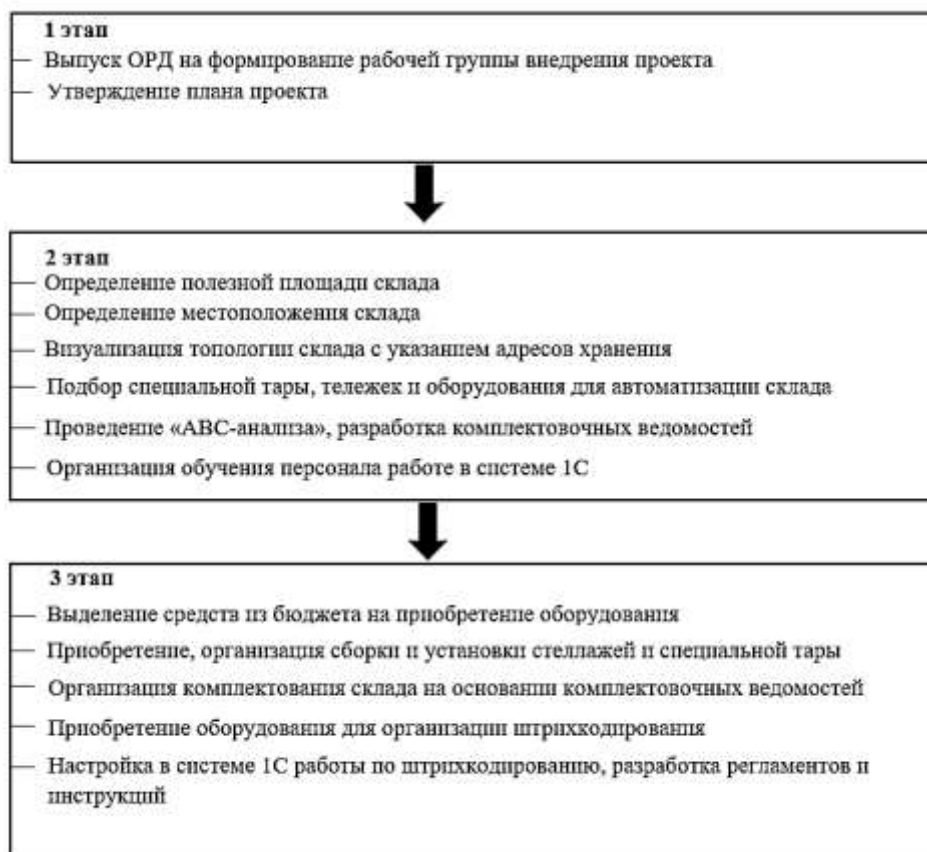


Рисунок 2 – Модель формирования «бережливого склада»

Экономию за счёт сокращения времени на поиск необходимых материалов рассчитаем по формуле:

$$\mathcal{E}_2 = T_{\text{мат}} \cdot P_{\text{выд}} \cdot 3P_{\text{час}} \cdot N_{\text{мес}}, \quad 0,1 \cdot 3118 \cdot 264,56 \cdot 12 = 988\,877,7 \text{ руб.}$$

где $T_{\text{мат}}$ - время, затрачиваемое на поиск необходимых материалов;

$P_{\text{выд}}$ - количество выдаваемых позиций товарно-материальных ценностей;

Экономию за счёт снижения времени, израсходованного на отражение материалов в консолидированной системе 1С рассчитаем по формуле:

$$\mathcal{E}_3 = T_{\text{опр}} \cdot 3P_{\text{час}} \cdot N_{\text{мес}}, \quad 28 \cdot 264,56 \cdot 12 = 88\,892,16 \text{ руб.}$$

где $T_{\text{опр}}$ - время, затрачиваемое на оприходование материалов в системе.

Исходя из проведённых расчётов рассчитаем экономию денежных средств после оптимизации логистических потоков складского хозяйства из расчёта на трёх кладовщиков за год:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3) \cdot N_{\text{к}}, \quad (103\,178,4 + 988\,877,7 + 88\,892,16) \cdot 3 = 3\,542\,844,78 \text{ руб.}$$

где $N_{\text{к}}$ - количество кладовщиков, задействованных в работе «бережливого склада».

Стоит отметить, что полученные предварительные результаты экспертного расчёта эффективности внедрения концепции «бережливого склада» не учитывают расходы на выполнение работ согласно разработанных этапов и основаны на анализе результатов ранее внедрённых инструментов «бережливого производства» с учётом всех преимуществ единого «бережливого склада» над имеющимся комплексом кладовых в ООО «ТМХ-Электротех». Однако проведённые расчёты всё же позволяют сделать вывод, что за счёт внедрения «бережливого склада» можно добиться положительного эффекта в экономии затрат, а также уменьшения временных потерь на выполнение основных рабочих операций. Окончательную экономическую эффективность можно будет рассчитать после получения итоговых затрат на внедрение системы «бережливый склад», а также затрат на внедрение эталонной линии производства.

Результаты и обсуждение

После проведения анализа были получены следующие результаты:

- 1) описаны основные факторы влияния логистики на конкурентоспособность предприятия;
- 2) проведён анализ внедрённых инструментов «бережливого производства» в компании ООО «ТМХ-Электротех», приведена экономическая эффективность мероприятий;
- 3) на основании проведённого анализа разработан план формирования единого склада, деятельность которого будет соответствовать всем современным методам «бережливого производства». Окончание работ по проекту запланировано на второй квартал 2026 года;
- 4) произведена экспертная оценка эффективности внедрения концепции «бережливого склада».

Выводы

Конкурентоспособность промышленных предприятий является одним из главных показателей их эффективной работы в современной производственной системе. В условиях активного развития программы импортозамещения крупнейшие промышленные предприятия стремятся занять более прибыльную нишу. Удержание ключевых позиций таких предприятий возможно благодаря использованию логистических инноваций, подразумевающих автоматизацию и цифровизацию логистических операций. Внедрение инноваций в сфере логистики способствует минимизации издержек благодаря более точному и глубокому прогнозированию. Именно логистика охватывает планирование, контроль поставок, оптимизацию запасов и управление информационным потоком. Развитие логистической системы неразрывно связано с внедрением инновационных технологий, автоматизации процессов.

Таким образом развитие логистической системы является неотъемлемой частью стратегии развития предприятий и позволяет сделать бизнес более устойчивым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вумек ДЖ.П., Джонск Д.Т. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М: Альпина Бизнес Букс, 2012. 468 с.
2. Савич Ю.А. Инструментарий стратегического управления конкурентоспособностью предприятия // Экономинфо. 219. Т. 16. №1. С. 27-34.
3. Дыбская В.В. Логистика складирования: учебник. Москва: ИНФРА-М, 2021. 559 с.
4. Неруш Ю.М., Панов С.А., Неруш А.Ю. Планирование и организация логистического процесса: учебник и практикум для среднего профессионального образования. Москва: Юрайт, 2022. 422 с.
5. Бродецкий Г.Л., Герами В.Д., Колик А.В., Шидловский И.Г. Управление запасами: многофакторная оптимизация процесса поставок: учебник для среднего профессионального образования. Москва: Юрайт, 2022. 322 с.
6. Пузанова И.А., Аникин Б.А. Интегрированное планирование цепей поставок: учебник для бакалавриата и магистратуры / под редакцией Б.А. Аникина. Москва: Юрайт, 2022. 319 с.;
7. Щетинина И.В. Концепция бережливого производства как фактор повышения конкурентоспособности продукции // Организатор производства. 2015. №3(66). С.32-39.
8. Лайкер Дж., Майер Д. Практика Дао Toyota: Руководство по внедрению принципов менеджмента Toyota. М.: Альпина Бизнес Букс, 2012. 588 с.
9. Григорьев М.Н., Ткач В.В., Уваров С.А. Коммерческая логистика: теория и практика: учебник. Москва: Юрайт, 2018. 507 с.
10. Масааки Имаи Гемба кайдзен: Путь к снижению затрат и повышению качества. АльпинаБизнесБукс, 2016. 416 с.
11. Уильям Детмер, Эли Шрагенхайм. Производство с невероятной скоростью: Улучшение финансовых результатов предприятия. Пер. с англ. - М.: Альпина Паблишерз, 2009. 330 с.
12. Лайкер Д.К., Лайкер Д.К. ДАО TOYOTA 14 принципов менеджмента ведущей компании мира. Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. 402с.
13. Лайкер Дж., Лайкер Дж., Хосеус М. Корпоративная культура Toyota: уроки для других компаний: сокр. пер. с англ. М.: Альпина Паблишерз, 2011. 354 с.
14. Сергеев В.И. Управление цепями поставок: учебник для вузов. Москва: Юрайт, 2022. 480 с.
15. Мельников В.П., Схиртладзе А.Г., Антонюк А.К. Логистика: учебник для вузов / под общей редакцией В.П. Мельникова. Москва: Юрайт, 2022. 288 с.

Марченко Вероника Евгеньевна

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова
Адрес: 346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Аспирант

E-mail: MarchenkoVE@nevz.com

Страшной Вячеслав Владимирович

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова

Адрес: 346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Аспирант

E-mail: StrashnoyVV@nevz.com

V.E. MARCHENKO, V.V. STRASHNOY

METHODS OF MANAGEMENT OF TRANSPORT SYSTEMS BASED ON THE INTRODUCTION AND OPERATION OF LEAN PRODUCTION TOOLS IN AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Abstract. *In the current conditions of economic development, any industrial enterprise is working to increase the efficiency of its activities, in particular, by introducing logistical innovations into the production system that help reduce costs and increase output volumes. It is on this methodology that the logistics principles of «lean manufacturing» are based. In this paper, the concept of «lean manufacturing» is considered, which directly affects the reduction of losses, reduction of production costs and optimization of the main processes of warehouse logistics, and as a result, improving the quality of products, and also presents a model of the plan for creating a «lean warehouse».*

Keywords: *lean manufacturing, logistic innovations, lean technologies, logistics system, lean warehouse, warehouse logistics*

BIBLIOGRAPHY

1. Vumek DZH.P., Dzhonsk D.T. Berezhlivoe proizvodstvo: kak izbavit'sya ot poter' i dobit'sya protsvetaniya vashey kompanii. M: Al'pina Biznes Buks, 2012. 468 s.
2. Savich YU.A. Instrumentariy strategicheskogo upravleniya konkurentosposobnost'yu predpriyatiya // Ekonominfo. 219. T. 16. №1. S. 27-34.
3. Dybskaya V.V. Logistika skladirovaniya: uchebnik. Moskva: INFRA-M, 2021. 559 s.
4. Nerush Yu.M., Panov S.A., Nerush A.Yu. Planirovanie i organizatsiya logisticheskogo protsessa: uchebnik i praktikum dlya srednego professional'nogo obrazovaniya. Moskva: YUrayt, 2022. 422 s.
5. Brodetskiy G.L., Gerami V.D., Kolik A.V., Shidlovskiy I.G. Upravlenie zapasami: mnogofaktornaya optimizatsiya protsessa postavok: uchebnik dlya srednego professional'nogo obrazovaniya. Moskva: YUrayt, 2022. 322 s.
6. Puzanova I.A., Anikin B.A. Integrirovannoe planirovanie tsepey postavok: uchebnik dlya bakalavriata i magistratury / pod redaktsiey B.A. Anikina. Moskva: YUrayt, 2022. 319 s.;
7. Shchetinina I.V. Kontseptsiya berezhlivogo proizvodstva kak faktor povysheniya konkurentosposobnosti produktsii // Organizator proizvodstva. 2015. №3(66). S.32-39.
8. Layker Dzh., Mayer D. Praktika Dao Toyota: Rukovodstvo po vnedreniyu printsipov menedzhmenta Toyota. M.: Al'pina Biznes Buks, 2012. 588 s.
9. Grigor'ev M.N., Tkach V.V., Uvarov S.A. Kommercheskaya logistika: teoriya i praktika: uchebnik. Moskva: YUrayt, 2018. 507 s.
10. Masaaki Imai Gemba kayden: Put' k snizheniyu zatrat i povysheniyu kachestva. Al'pinaBiznesBuks, 2016. 416 s.
11. Uil'yam Detmer, Eli SHragenkhaym. Proizvodstvo s neveroyatnoy skorost'yu: Uluchshenie finansovykh rezul'tatov predpriyatiya. Per. s angl. - M.: Al'pina Publisherz, 2009. 330 s.
12. Layker D.K., Layker D.K. DAO TOYOTA 14 printsipov menedzhmenta vedushchey kompanii mira. Per. s angl. M.: Al'pina Biznes Buks, 2005. 402s.
13. Layker Dzh., Layker Dzh., Hoseus M. Korporativnaya kul'tura Toyota: uroki dlya drugih kompaniy: sokr. per. s angl. M.: Al'pina Publisherz, 2011. 354 s.
14. Sergeev V.I. Upravlenie tsepyami postavok: uchebnik dlya vuzov. Moskva: YUrayt, 2022. 480 s.
15. Mel'nikov V.P., Skhirtladze A.G., Antonyuk A.K. Logistika: uchebnik dlya vuzov / pod obshchey redaktsiey V.P. Mel'nikova. Moskva: YUrayt, 2022. 288 s.

Marchenko Veronika Evgenievna

South Russian State Polytechnic University

Address: 346406, Russia, Novocherkassk

Postgraduate student

E-mail: MarchenkoVE@nevz.com

Strashnoy Vyacheslav Vladimirovich

South Russian State Polytechnic University

Address: 346406, Russia, Novocherkassk

Postgraduate student

E-mail:StrashnoyVV@nevz.com

Научная статья

УДК 656.135

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-34-40

В.М. КУРГАНОВ, М.В. ГРЯЗНОВ, А.Н. ДОРОФЕЕВ

МОТИВАЦИЯ ВОДИТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ НА ПЕРЕВОЗКЕ ТОРГОВЫХ ГРУЗОВ

Аннотация. В статье рассматривается подход к разработке системы мотивации водителей на перевозке торговых грузов в городском и пригородном сообщении на основе статистического исследования с использованием методики корреляционного анализа. Установлены ключевые показатели мотивации, имеющие каузальные связи с результатами деятельности торговой компании. Проведена апробация положения об оплате труда водителей, разработанного на основе исследований.

Ключевые слова: мотивация водителей, перевозки торговых грузов, городские и пригородные перевозки, управление персоналом

Введение

Несмотря на важность разработки и использования систем оплаты труда, в максимальной степени мотивирующих водителей на решение задач, стоящих перед предприятиями, количество научных публикаций по этой тематике невелико. В них либо приводится обзор разных форм оплаты водителей с примерами использования в зависимости от специфики деятельности автотранспортных предприятий [1], либо рассматриваются общие вопросы организации труда и мотивации [2]. Институт стратегического управления социальными системами разработал конкретные предложения по разработке систем мотивации в автотранспортных предприятиях без приведения результатов теоретических или экспериментальных исследований эффективности рекомендуемых схем [3]. По большей части имеющиеся публикации содержат материалы консалтинговых компаний [4], советы экономистов [5] или разъяснения сотрудников Государственной инспекции труда или других контролирующих организаций [6]. Статьи с изложением мнений и опыта практических работников размещаются в некоторых профессиональных журналах [7] и на сайтах соответствующей направленности [8].

Литературный обзор и изучение состояния вопроса позволили установить, что наиболее распространенными являются повременная и сдельная формы оплаты труда водителей.

При повременной оплате труда водителей устанавливается либо часовая ставка, либо дневная ставка, либо месячный оклад, который не зависит от количества рабочих дней в конкретном месяце. Повременная оплата труда может быть дополнена премированием за достижение оговоренных результатов, в числе которых предприятиями могут использоваться: экономия горюче-смазочных материалов, соблюдение графика движения, выполнение плана по доходам или прибыли.

При сдельной оплате труда устанавливаются сдельные расценки за выполнение установленных показателей работы водителей, в числе которых может выбираться пробег или, например, количество перевезенного груза.

Выбранная работодателем система оплаты труда водителей должна содержаться в локальных нормативных актах предприятия, например, в положении об оплате труда и премировании, коллективном договоре. Конкретный размер заработной платы устанавливается, согласно ст. 135 ТК РФ, в трудовом договоре работодателя с водителем.

Имеются разнообразные условия выполнения перевозок в зависимости от вида груза, расположения пунктов погрузки и разгрузки, расстояний движения транспортных средств и других факторов. Столь же разнообразны должны быть системы оплаты труда, чтобы осуществлялась их мотивирующая функция.

Одними из наиболее сложных для выполнения являются перевозки торговых грузов в розничную сеть, когда автомобили работают в условиях городских и пригородных транспортных потоков высокой интенсивности и должна быть обеспечена доставка к назначенному времени в каждый из пунктов маршрута.

Исходя из актуальности данного вида транспортной деятельности, в работе поставлена цель - разработать предложения по мотивации водителей при перевозке торговых грузов в городах на основе исследования условий их осуществления и влияния показателей работы водителей на результаты деятельности торговой компании.

Материал и методы

Был проведен анализ особенностей труда водителей на перевозке торговых грузов в городских условиях, которые целесообразно учитывать при разработке системы оплаты труда. Методом статистического и корреляционного анализа были изучены количественные характеристики выполненных перевозок (объем перевозок, т; количество обслуженных точек доставки, ед.; расстояние перевозки, км) и сделан вывод относительно их связей между собой. Методом каузального анализа были определены причинно-следственные связи количественных характеристик транспортного процесса с конечными показателями деятельности торговой компании (объем продаж, руб.; размер клиентской базы, ед.).

На основе полученных результатов исследования были предложены ключевые показатели мотивации водителей и проведена апробация разработанной системы мотивации водителей в реальных условиях.

Теория

Анализ факторов, подлежащих учету при разработке системы мотивации водителей.

Водители являются ключевым звеном в достижении высокой эффективности деятельности торговой компании в целом и процесса доставки в частности. От водителя во многом зависит, какой окажется производительность транспортного процесса, с какими затратами будут выполнены перевозки грузов и насколько заказчик будет удовлетворен качеством доставки, включая сохранность принятых к перевозке грузов, соблюдение графика прибытия транспортного средства в пункты погрузки и разгрузки, правильность и своевременность оформления сопроводительной товарно-транспортной документации.

В большинстве случаев в круг обязанностей водителя может входить прием и сдача перевозимого груза, контроль полноты и точности документов на груз, сопровождение грузов в пути и предотвращение их повреждения или хищения. Нередко водителю приходится выполнять дополнительные обязанности, например, грузчика или слесаря-ремонтника при устранении неисправностей закрепленного автомобиля. Большую часть своего рабочего времени водитель должен самостоятельно принимать решения по возникающим ситуациям в процессе перевозки грузов и нести ответственность за принимаемые решения. Во многих случаях транспортная деятельность характеризуется рисками криминальных действий в отношении водителя или перевозимого груза, рисками неблагоприятных дорожных или погодноклиматических условий и других факторов. Риски связаны также с тем, что на законодательном уровне определено, что автомобиль, которым управляет водитель, является источником повышенной опасности со всеми вытекающими отсюда правовыми последствиями.

Условия труда, в частности, длительное нахождение в кабине автомобиля в одном положении и частые стрессы неблагоприятно влияют на здоровье водителя. Страдают коленные и тазобедренные суставы, избыточную нагрузку испытывает позвоночник, повышается вероятность сердечно-сосудистых заболеваний. При этом профессия водителя отсутствует в перечнях работ с вредными или опасными условиями труда. Дополнительным негативным фактором является сложность обеспечения фиксированной длительности рабочего дня. В случае междугородных перевозок рейс может длиться несколько суток. Нередко является необходимой работа в две или три смены [9], что создает особую трудность для планирования, расчета заработной платы и обеспечения комфортных условий труда [10]. Помимо повышенной утомляемости и нервно-психического напряжения, такой режим работы увеличивает вероятность заболеваний пищеварительной системы из-за трудности организовать регулярное и полноценное питание водителей.

Нередко именно водитель представляет компанию на заключительном этапе реализации взаимоотношений между поставщиком и потребителем товара. Часто он оказывается единственным представителем компании-поставщика, которого «вживую» видит потребитель. Впечатление от взаимодействия нескольких компаний при выполнении договора поставки товара во многом складывается от того, насколько профессионально и качественно выполняет свои обязанности водитель. Распространены случаи, когда компания, которую не

устроило поведение водителя, доставившего заказанный товар, в дальнейшем отказывается от услуг компании-поставщика.

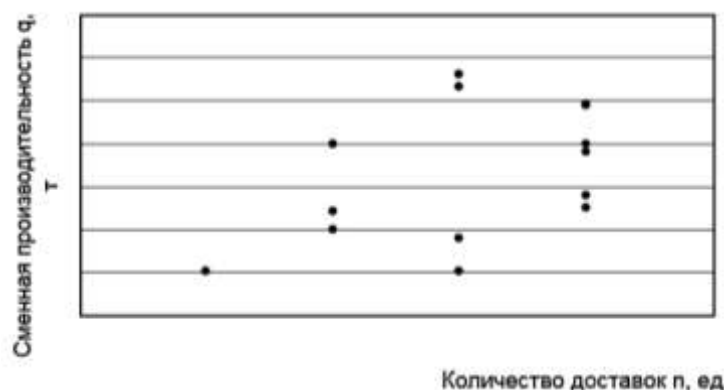


Рисунок 1 – Облако рассеяния точек, характеризующее статистическую связь между показателями «сменная производительность, т - количество обслуженных точек доставки, ед.» для автомобилей, грузоподъемностью 1 т (представитель группы - фургон ГАЗ-2752 «Соболь»). Коэффициент корреляции $R = 0,4550$

Гипотеза исследования. В компании, на примере которой проводилось исследование, оплата водителей на доставке товаров производилась в зависимости от отработанного времени. Имелись срывы в доставках, когда водитель опаздывал к заказчику или вообще не приезжал, объясняя срыв заторами на дорогах или простоями в очередях в предыдущих точках доставки. Каждый такой случай становился предметом служебного расследования и приводил к санкциям по отношению к водителям, но такие случаи снова повторялись. Некоторые из водителей перевозили товары компании на принадлежащих им автомобилях и при выдаче задания на перевозку старались обосновать снижение загрузки автомобиля, что приводило к низкому коэффициенту использования грузоподъемности.

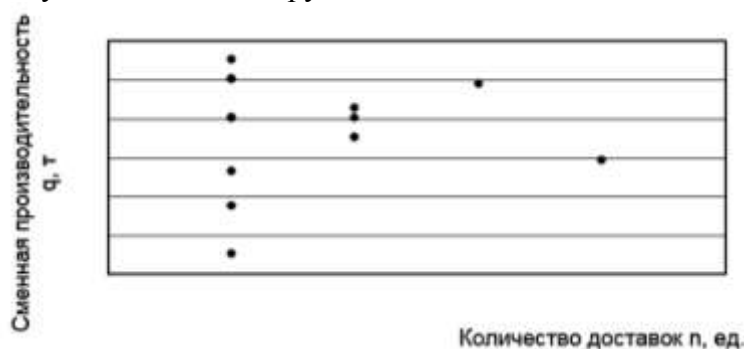


Рисунок 2 – Облако рассеяния точек, характеризующее статистическую связь между показателями «сменная производительность, т - количество обслуженных точек доставки, ед.» для автомобилей ГАЗ-3302 «Газель» грузоподъемностью 1,5 т. Коэффициент корреляции $R = 0,3162$

Анализ состояния с доставкой товаров и отношения водителей к выполнению заданий на перевозку позволил сформулировать гипотезу исследования в нескольких положениях:

- 1) существующая система оплаты водителей в зависимости от отработанного времени способствует возникновению срывов в доставке и постоянно порождает новые проблемы;
- 2) принуждение водителей и тотальный контроль их работы на линии трудоёмки и заведомо не могут устранить возникающие проблемы в доставке товаров заказчикам;
- 3) необходимо разработать систему оплаты водителей, которая бы связывала их заработную плату с необходимыми для компании результатами;
- 4) новая система оплаты водителей должна изменить отношение водителей к работе: его не принуждают выполнить порученное задание с последующим контролем и угрозой санкций за неисполнение, а поручают ему задание, дающее возможность заработать;
- 5) заработная плата водителей должна быть тем выше, чем лучше водитель выполняет порученное задание.

Принятые подходы к построению системы мотивации. В менеджменте реализуется два вида контроля: контроль процесса и контроль результата. Контроль процесса позволяет выявить отклонения от установленного плана работы, их причины и предупредить возможные инциденты. Однако основным является контроль результата, т.к. на его достижение направлена работа всех сотрудников предприятия. Исходя из необходимости использовать оба вида контроля, принято, что система мотивации водителей на перевозке торговых грузов должна сочетать повременную оплату труда (для обеспечения возможности контролировать рабочие процессы и компенсации трудозатрат), а также сдельную (для стимулирования результативности в работе).

Выбор показателей системы мотивации. Рассмотрение связей показателей транспортного процесса с конечными результатами работы компании привело к следующим выводам.

Компания заинтересована в увеличении объемов продаж, т.к. это обеспечивает рост доходов и, как следствие, положительно влияет на прибыльность экономической деятельности. Водители, казалось бы, напрямую не могут повлиять ни на прибыль, ни на доходы, ни на объемы продаж. Однако продаваемые компанией товары - это грузы, которые перевозят водители. Чем больше грузов водители доставят клиентам компании, тем больше товаров будет продано. Отсюда первый вывод, что можно заложить в систему мотивации причинно-следственную цепочку: оплата водителям в зависимости от количества перевезенного груза положительно влияет на объемы продаж и, в конечном итоге, на рост прибыли.

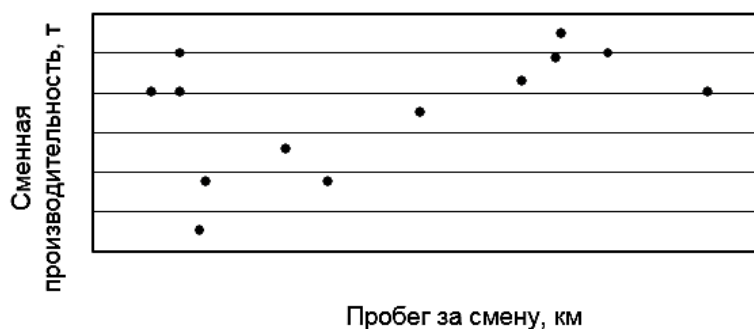


Рисунок 3 – Облако рассеяния точек, характеризующее статистическую связь между показателями «сменная производительность, т - пробег автомобиля за смену, км.» для автомобилей ГАЗ-3302 «Газель» грузоподъемностью 1,5 т. Коэффициент корреляции $R = 0,4889$

Объем рынка, наряду с другими показателями, характеризуется количеством клиентов компании. Казалось бы, работа водителей не связана с расширением и поддержанием клиентской базы. Однако то, что для водителя является точкой доставки, где находится получатель груза, - это клиент как для отдела продаж, так и для компании в целом. Отсюда второй вывод: увеличение количества обслуженных водителями точек доставки способствует сохранению имеющейся клиентской базы и её расширению.

Каузальный анализ позволил установить причинно-следственные связи показателей работы водителей с результирующими показателями торговой компании: стимулирование объема перевозок способствует росту доходности и прибыльности, а стимулирование увеличения количества обслуженных точек доставки способствует расширению и поддержанию клиентской базы.

Конечно, можно выделить, кроме названных, другие ключевые показатели деятельности компании: уровень затрат, качество обслуживания и другие. Затем путем анализа причинно-следственных связей выявлять те показатели транспортного процесса, которые связаны с этими результирующими показателями деятельности компании. Однако радикальным требованием к построению системы мотивации является использование небольшого количества показателей, от которых зависит размер заработной платы. Поэтому система мотивации должна трансформироваться: на одном этапе предприятие добивается увеличения объемных показателей, на другом - снижения затрат, на третьем - повышения качества и далее, поэтапно повышая свою эффективность. На первом этапе исследований в качестве ключевых показателей мотивации водителей были выбраны количество перевезенного груза и количество точек доставки.

Исследование взаимосвязей показателей системы мотивации. При разработке положения об оплате труда водителей возник ряд предположений относительно выбора конкрет-

ных показателей, для проверки которых потребовалось проведение статистического исследования и корреляционного анализа.

Одним из предположений была возможность статистической связи ключевых показателей, выбранных на этапе каузального исследования. Если бы количество перевезенного груза и количество точек доставки имели бы между собой статистическую связь, то было бы достаточно использовать в системе мотивации один из них, информативность которого выше.

Исследование проводилось на примере каждой из используемых моделей автомобилей. Оказалось, корреляция между этими двумя показателями для автомобилей разной грузоподъемности различается, но во всех случаях связь является либо слабой, либо умеренной: для автомобилей, представителем семейства которых можно считать ГАЗ 3310 «Валдай» грузоподъемностью 3,6 т, коэффициент корреляции $R = 0,6930$; для автомобилей, аналогичных по своим эксплуатационным качествам фургону ГАЗ-2752 «Соболь» $R = 0,4550$ (рис. 1); для автомобилей семейства ГАЗ-3302 «Газель» $R = 0,3162$ (рис. 2); для фургонов на базе легкового автомобиля, аналогичных LADA Largus, $R = 0,1000$.

Одними из требований к системе мотивации является простота системы учета ключевых показателей и легкость понимания работниками предприятия. Если бы подтвердилось предположение о том, что сменная производительность автомобилей в тоннах имеет устойчивую статистическую связь с их грузоподъемностью, то тогда можно было вместо учета перевезенного количества груза за каждую смену назначить заработную плату водителям в зависимости от грузоподъемности закрепленного автомобиля.

В ходе статистического исследования показателей работы всех типов используемых малотоннажных автомобилей (от фургонов на базе легкового автомобиля до фургонов грузоподъемностью более 3 т) выяснилось, что связь между сменной производительностью и грузоподъемностью транспортных средств носит умеренных характер и оценивается коэффициентом корреляции $R = 0,6037$. Если в статистическом анализе ограничиться автомобилями грузоподъемностью до 1,5 т. включительно, то статистическая связь характеризуется как слабая, а коэффициент корреляции $R = 0,1949$.

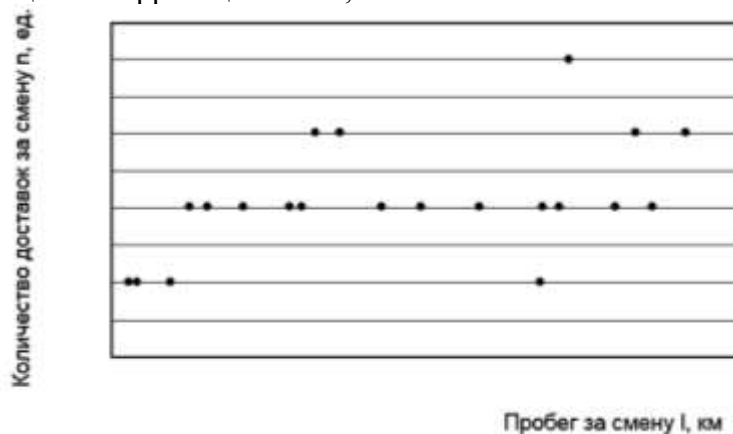


Рисунок 4 – Облако рассеяния точек, характеризующее статистическую связь между показателями «количество обслуженных клиентов за смену, ед. — пробег автомобиля за смену, км.» для автомобилей ГАЗ-3302 «Газель» грузоподъемностью 1,5 т. Коэффициент корреляции $R = 0,4712$

Ряд клиентов компании располагался за пределами городской территории. Уместно было предположить, что при увеличении пробега автомобиля у водителя будет меньше возможностей увеличить количество перевозимого груза за смену и повысить количество обслуженных точек. Статистическое исследование показало, что такая связь действительно присутствует, но её сила не превышает умеренных границ и может носить даже положительный характер (рис. 3 и 4).

Результаты и обсуждение

Статистический анализ, проведенный для условий деятельности конкретного предприятия, показал, что связь между исследуемыми показателями носит либо умеренный, либо слабый характер. Это означает, что в качестве ключевых показателей мотивации водителей необходимо использовать как сменную производительность за смену в тоннах, так и количество выполненных доставок. Влияние сменного пробега на эти показатели по результатам статистического анализа применительно к данным условиям перевозок можно признать не-

существенным и этот параметр нецелесообразно включать в систему мотивации.

При изменении условий деятельности состав и связи показателей может измениться, поэтому периодически следует обновлять систему мотивации водителей, предварительно проводя статистические исследования.

Апробация проводилась путем внедрения временного положения об оплате труда. Предварительно с водителями проводилась разъяснительная работа, во время которой аргументировалась необходимость изменений в оплате труда и обосновывалась возможность увеличения заработка за счет сдельной части их заработка. Апробация показала, что поведение водителей изменилось. Заметно снизилось количество срывов в доставке товаров в пункты маршрутов. Практически исчезли ссылки на простои у заказчиков и заторы на дорогах как причины опозданий и невыполнений сменных заданий. Водители стали проявлять инициативу в увеличении напряженности сменных заданий в части загрузки автомобилей и количества пунктов на маршрутах. Появились ранее не наблюдавшиеся случаи, когда водители выполняли задания, например, до 16 часов и обращались к диспетчеру с просьбой дать им дополнительное задание, которое они могли бы выполнить до конца смены.

Выводы

1. Рациональная структура заработной платы водителей состоит из трех основных компонентов: базовая и сдельная части, надбавки и доплаты.

2. Базовая часть выплачивается за отработанное время. Специфика работы водителя состоит в том, что в его обязанности входит не только управление транспортным средством, но выполнение регламентированного перечня работ (поддержание автомобиля в технически исправном состоянии, выполнение подготовительно-заключительных работ, техническое обслуживание подвижного состава). Повременная (базовая) часть должна учитывать сложность и трудоемкость выполнения указанных операций, поэтому её целесообразно дифференцировать в зависимости от модели автомобиля или класса (грузоподъемности) транспортных средств.

3. Сдельная часть - это выплаты за достижение и превышение установленных показателей в работе. Для рассмотренных условий перевозок таких показателей выявлено два: объем доставленного груза в тоннах и количество выполненных доставок. В других условиях работы перечень показателей может быть другим, но их выбору должен предшествовать детальный статистический анализ и обоснование выбора используемых показателей.

4. Надбавки и доплаты выплачиваются за стаж работы на данном предприятии, выполнение особо важных работ и специальных заданий руководства (например, функций бригадира, механика и т.д.).

5. По результатам апробации разработанной в ходе исследования системы мотивации установлено, что в среднем заработок водителей повысился, но показатели их работы возросли в большей степени. Все положения гипотезы подтверждены результатами проведенного исследования и его апробацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диденко Е.Е., Сегодин П.С. Организация оплаты труда водителей на предприятиях автотранспорта // Ученые заметки ТОГУ. 2014. Т. 5. №2. С. 193-196.
2. Краснаярова Е.В. Особенности регулирования труда водителей автомобильного транспорта // Вестник ИРГТУ. №3(86). 2014. С. 264-271.
3. Пашиоликова Е. Как мотивировать водителей: варианты поощрений [Электронный ресурс] / Генеральный директор. URL: <https://www.gd.ru/articles/10839-kak-motivirovat-voditeley>.
4. Акимов Е.В. Оплата труда водителей: актуальные вопросы // Справочник экономиста. 2017. №3.
5. Садырова М.С. Оплата труда водителей. Государственная инспекция труда [Электронный ресурс] / URL: git64.rostrud.gov.ru/upload/iblock/f40/_-_-_.docx.
6. Бойцов А.А. Об оплате труда, премировании и социальной защищенности. Институт стратегического управления социальными системами.
7. Разгуляев В.Ю. Чем проще, тем лучше // Рейс. 2010. №05. С. 20-24.
8. Лобанов Н. Мотивация водителей [Электронный ресурс] / URL: <https://www.lobanov-logist.ru/library/352/58572/>
9. Дорофеев А.Н. Информационные технологии для управления автомобильным транспортом: Монография. М.: Прометей, 2020. 164 с.
10. Дорофеев А.Н. Информационные технологии для учета рабочего времени водителей. Нормирование и оплата труда на автомобильном транспорте. 2012. №04. С. 17-22.

Курганов Валерий Максимович

Тверской государственный университет

Адрес: 170100, Россия, г. Тверь, ул. Желябова, 33

Д.т.н., профессор кафедры экономики предприятия и менеджмента, член комиссии (эксперт) Общественного совета Министерства транспорта Российской Федерации
E-mail: glavreds@gmail.com

Грязнов Михаил Владимирович

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Адрес: 455000, Россия, г. Магнитогорск, пр-т Ленина, 38

Д.т.н., профессор кафедры логистики и управления транспортными системами, член комиссии (эксперт) Общественного совета Министерства транспорта Российской Федерации, действительный член Российской академии транспорта

E-mail: gm-autolab@mail.ru

Дорофеев Алексей Николаевич

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

Адрес: 125167, Россия, Москва, пр-т Ленинградский, д. 49/2

К.т.н., доцент кафедры финансовых технологий

E-mail: andorofeev@fa.ru

V.M. KURGANOV, M.V.GRYAZNOV, A.N. DOROFEEV

MOTIVATION OF CAR DRIVERS FOR THE TRANSPORTATION OF COMMERCIAL GOODS

Abstract. *The article considers an approach to the development of a driver motivation system for the transportation of commercial goods in urban and suburban communications based on a statistical study using a correlation analysis technique. The key indicators of motivation have been established, which have causal links with the results of the trading company's activities. The regulation on drivers' remuneration, developed on the basis of research, has been tested.*

Keywords: *motivation of drivers, transportation of commercial goods, urban and suburban transportation, personnel management*

BIBLIOGRAPHY

1. Didenko E.E., Segodin P.S. Organizatsiya oplaty truda voditeley na predpriyatiyakh avtotransporta // Uchenye zametki TOGU. 2014. T. 5. №2. S. 193-196.
2. Krasnoyarova E.V. Osobennosti regulirovaniya truda voditeley avtomobil'nogo transporta // Vestnik IrGTU. №3(86). 2014. S. 264-271.
3. Pasholikova E. Kak motivirovat' voditeley: varianty pooshchreniy [Elektronnyy resurs] / General'nyy direktor. URL: <https://www.gd.ru/articles/10839-kak-motivirovat-voditeley>.
4. Akimova E.V. Oplata truda voditeley: aktual'nye voprosy // Spravochnik ekonomista. 2017. №3.
5. Sadyrova M.S. Oplata truda voditeley. Gosudarstvennaya inspektsiya truda [Elektronnyy resurs] / URL: git64.rostrud.gov.ru/upload/iblock/f40/_-__.docx.
6. Boytsov A.A. Ob oplate truda, premirovani i sotsial'noy zashchishchennosti. Institut strategicheskogo upravleniya sotsial'nymi sistemami.
7. Razgulyaev V.Yu. Chem proshche, tem luchshe // Reys. 2010. №05. S. 20-24.
8. Lobanov N. Motivatsiya voditeley [Elektronnyy resurs] / URL: <https://www.lobanov-logist.ru/library/352/58572/>
9. Dorofeev A.N. Informatsionnye tekhnologii dlya upravleniya avtomobil'nyim transportom: Monografiya. M.: Prometey, 2020. 164 s.
10. Dorofeev A.N. Informatsionnye tekhnologii dlya ucheta rabocheho vremeni voditeley. Normirovanie i oplata truda na avtomobil'nom transporte. 2012. №04. S. 17-22.

Kurganov Valery Maksimovich

Tver State University

Address: 170100, Russia, Tver, st.Zhelyabova, 33

Doctor of technical sciences

E-mail: glavreds@gmail.com

Gryaznov Mikhail Vladimirovich

Magnitogorsk State Technical University

Address: 455000, Russia, Magnitogorsk, Lenin Ave., 38

Doctor of technical sciences

E-mail: gm-autolab@mail.ru

Dorofeev Alexey Nikolaevich

Financial University under the Government of the Russian Federation

Address: 125167, Russia, Moscow, Leningradsky Ave., 49/2

Candidate of technical sciences

E-mail: andorofeev@fa.ru

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Научная статья

УДК 629.3

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-41-48

М.Д. ТЕБЕКИН, И.В. ГУСЯКОВ, А.В. СИДОРЕНКО

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИОННОГО СПОСОБА ДЛЯ
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ХОДОВОЙ ЧАСТИ НА
ПРИМЕРЕ АВТОМОБИЛЯ УРАЛ «NEXT»**

***Аннотация.** Поддержание заданной работоспособности автомобильной техники, используемой для выполнения боевых задач является актуальной проблемой. Один из способов ее достижения — это применение цифровых технологий, в частности определение зазоров в подвижных сопряжениях с помощью вибродатчиков. В статье рассмотрено диагностирование элементов ходовой части автомобиля Урал «Next» с помощью вибрационного способа как с применением специализированных стендов, так во время эксплуатации автомобиля.*

***Ключевые слова:** подвижные сопряжения, осевой зазор, ходовая часть, безопасность движения*

Введение

Для автомобильной военной техники большое значение имеет сохранение работоспособности при выполнении боевых задач. Особенно это относится к грузовым автомобилям, т.к. именно они являются универсальными транспортными средствами доставки грузов, боевого расчета, оборудования, на их базе создаются ракетные установки, комплексы связи, полевые столовые, мобильные заправочные станции и др.

В связи с вышеизложенным, важной задачей является поддержание работоспособности автомобильной техники, используемой для выполнения боевых задач на высоком уровне. Это в свою очередь достигается по двум направлениям - плановое техническое обслуживание и своевременное, качественное диагностирование основных систем и механизмов транспортных машин [1]. Оперативное диагностирование основных узлов, в частности обеспечивающих безопасность движения транспортных машин перед выполнением боевой задачи позволяет поддерживать работоспособность транспортной единицы на высоком уровне [2].

В вооруженных силах Российской Федерации (РФ) одним из наиболее массовых транспортных средств являются грузовые автомобили марки Урал. В конце 2015 г. «Группа ГАЗ» владеющая автозаводом Урал начала серийный выпуск грузовых автомобилей нового поколения - Урал «Next» (рис. 1), которые пришли на смену автомобилям семейства Урал-4320. В настоящее время в рядах вооруженных сил РФ идет массовая смена морально устаревших автомобилей семейства Урал-4320 на Урал «Next». Таким образом новое семейство автомобилей Урал является перспективным и в ближайшие 5-10 лет должно полностью вытеснить автомобили предыдущего поколения. В связи с этим возникает актуальность в качественном и оперативном диагностировании элементов ходовой части автомобилей семейства Урал «Next». При этом особое внимание уделяется элементам, включающим в себя подвижные единицы, такие как шаровые пальцы, вкладыши, головки штанг. Далее будут рассмотрены вопросы применения вибрационного способа, основанного на цифровом преобразовании ускорения в электрический сигнал [3].

Материал и методы

Детали шарнирного типа использующиеся в частности в ходовой части автомобилей относятся к ответственным, т.е. непосредственно влияющим на безопасность движения и определяющим работоспособность транспортной единицы. Надежность таких деталей определяется как качеством их изготовления, так и режимами эксплуатации (климатическая зона, качество дорожного покрытия, нагрузка и др.) [4].



Рисунок 1 – Автомобиль Урал «Next»

Одним из важных параметров деталей шарнирного типа является зазор между подвижными элементами, величина которого устанавливается заводом-изготовителем и имеет некоторые допуски, при выходе за пределы которых деталь перестает обеспечивать необходимый уровень безопасности движения, в частности снижаются показатели плавности хода, управляемости и устойчивости. Также внутри сопряжений появляются ударные нагрузки многократно превышающие расчетные [5]. Это может привести к выходу из строя как исследуемых деталей, так и других элементов ходовой части, повлекших за собой аварийную ситуацию.

Таким образом рассматриваемые детали шарнирного типа должны проходить периодический контроль технического состояния и необходимое обслуживание. Применяемые в настоящее время способы и средства диагностирования не в полной мере определяют истинное техническое состояние исследуемых элементов, в частности подвижных шарнирных деталей [6]. К таким способам можно отнести органолептический, акустический и визуальный с применением стендов с подвижными платформами. Для этих способов характерны низкая точность измерения геометрических параметров, низкая чувствительность, т.е. способность выявлять неисправность только при люфтах в сопряжениях значительно превышающих установленные нормы [7].

Эта проблема может быть решена за счет использования информационных, цифровых технологий [8]. Вибрационный способ определения люфтов в деталях шарнирного типа улавливает вибрации в сопряжениях при их взаимном перемещении, когда зазор превышает допустимый и они сталкиваются [9].

В ходовой части автомобиля Урал «Next» можно выделить подвижные сопряжения, исправность которых обеспечивает безопасность движения и работоспособность автомобиля в целом. Такие сопряжения входят в состав рулевого управления (рис. 2) и задней подвески (рис. 3).

В рулевом управлении применяются следующие подвижные сопряжения (рис. 2):

- шаровый палец 10 – вкладыши 8, 9 наконечника поперечной рулевой тяги 2 (два сопряжения – левое и правое);
- шаровый палец 10 – вкладыши 8, 9 наконечника продольной рулевой тяги (два сопряжения – переднее и заднее);
- шаровый палец 10 – вкладыши 8, 9 наконечника штока 22;
- шаровый палец 10 – вкладыши 8, 9 гидроцилиндра 21.

В задней подвеске применяются следующие подвижные сопряжения (рис. 3):

- шаровый палец 19 – вкладыши 20, 22 реактивных штанг верхних 2 и нижних 5 (8 сопряжений);
- ось балансира 17 – втулка 25 (2 сопряжения).

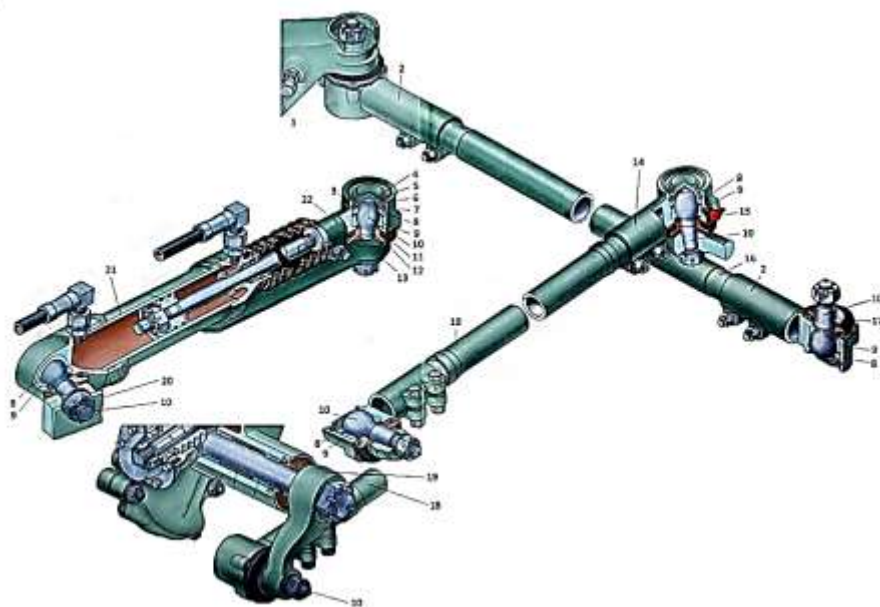


Рисунок 2 – Схема рулевого управления автомобиля Урал-4320:

1 – поворотный кулак правого колеса; 2 – рулевой наконечник поперечной тяги; 3 – уплотнительная прокладка; 4 – пружинка; 5 – верхняя крышка; 6 – стопорное кольцо; 7 – обойма пружины; 8 – вкладыш нижний; 9 – вкладыш верхний; 10 – палец шаровый; 11 – фиксатор чехла; 12 – чехол защитный; 13 – рычаг поворотный правый; 14 – наконечник тяги продольной; 15 – пресс-масленка; 16 – тяга поперечная; 17 – шайба; 18 – тяга продольная; 19 – сошка рулевого управления; 20 – рама; 21 – гидроцилиндр; 22 – наконечник штока

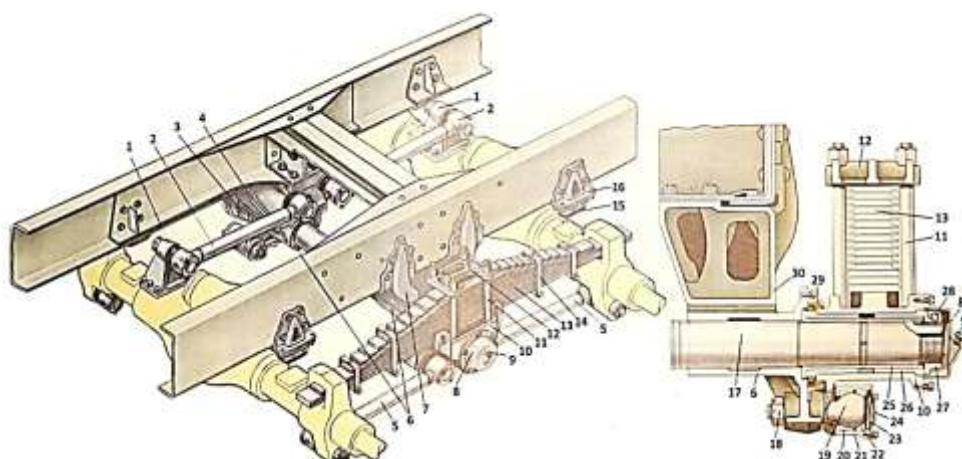


Рисунок 3 – Схема задней подвески автомобиля Урал-4320:

1 – кронштейн реактивной штанги верхней; 2 – штанга реактивная верхняя; 3 – балансир; 4 – кронштейн балансира правый; 5 – штанга реактивная нижняя; 6 – кронштейн оси задней подвески; 7 – кронштейн балансира левый; 8 – колпак; 9 – пробка заливного отверстия; 10 – балансир; 11 – стремянка; 12 – накладка стремянки; 13 – рессора; 14 – хомут; 15 – буфер; 16 – кронштейн буфера; 17 – ось балансира; 18 – гайка шарового пальца; 19 – шаровый палец; 20 – внутренний вкладыш; 21 – головка реактивной штанги; 22 – наружный вкладыш; 23 – пружина; 24 – крышка головки; 25 – втулка; 26 – упорная втулка; 27 – гайка оси балансира; 28 – стяжной болт; 29 – корпус сальников; 30 – левый кронштейн балансира

Блок – схема устройства для диагностирования деталей шарнирного типа (рис. 4) состоит из следующих элементов:

- исследуемые детали 1, 14;
- вибродатчики 2, 16 (один или несколько);
- соединительные кабели 3, 4, 6, 8, 10, 12;
- вычитающее устройство 5;
- усилитель сигнала 7;
- преобразователь аналоговых сигналов в цифровые 9 (АЦП);
- ПЭВМ 11;

- микроконтроллер 13;
- крепежные элементы в виде магнитов 15 для вибродатчиков.

Одним из необходимых условий является ориентация вибродатчиков. Они должны быть установлены так, чтобы их продольная ось располагалась параллельно направлению движения сопряжения [10]. В место магнитов 15 допускается использование различных металлических пластин с соответствующими крепежными отверстиями [11].

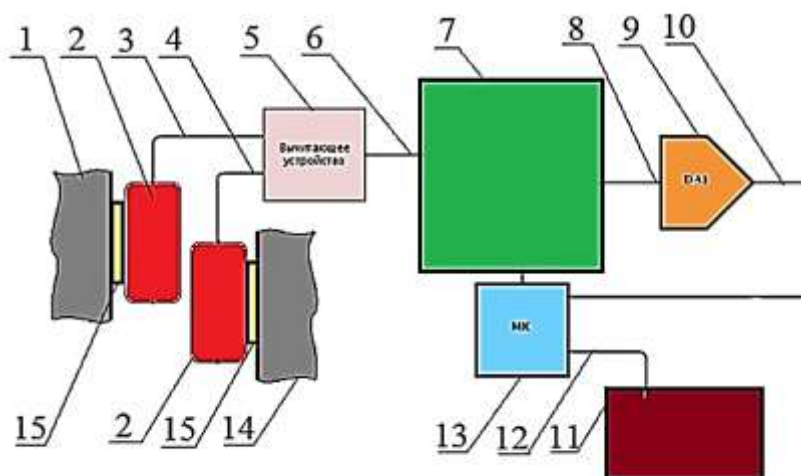


Рисунок 4 – Устройство для диагностирования деталей шарнирного типа с проводным соединением: 1, 14 – исследуемые детали; 2 – вибродатчик; 3, 4 – соединительные кабели вибродатчиков; 5 – вычитающее устройство; 6, 8, 10, 12 – соединительные кабели; 7- усилитель сигнала; 9 – преобразователь аналоговых сигналов в цифровые; 11 – ПЭВМ; 13 – микроконтроллер; 15 – крепежные элементы в виде магнитов

На рисунке 5 представлено устройство для диагностирования исследуемых сопряжений с беспроводным Bluetooth соединением. Такое соединение упрощает подключение основного блока к компьютеру и позволяет размещать все компоненты диагностического модуля в удобном месте рядом с диагностируемым элементом [12].

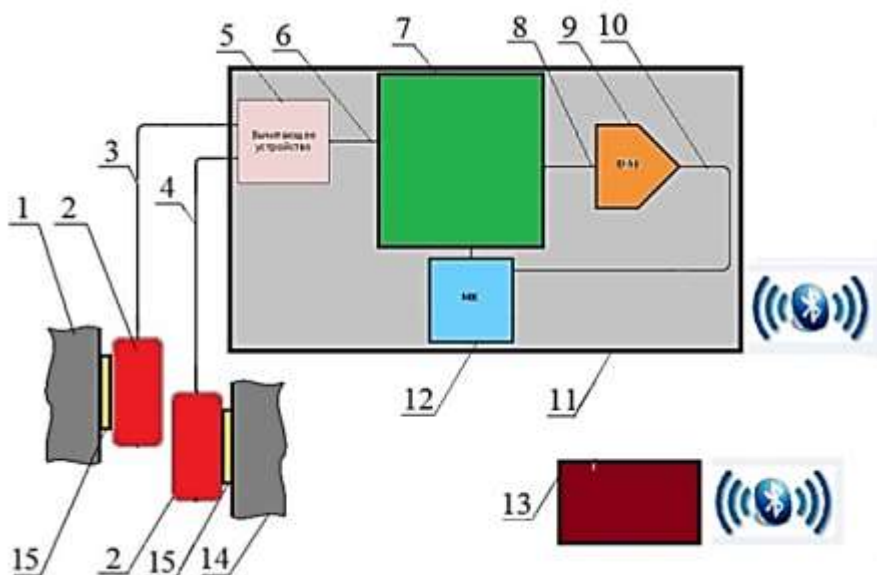


Рисунок 5 - Устройство для диагностирования деталей шарнирного типа с беспроводным Bluetooth соединением: 1, 14 – исследуемые детали; 2 – вибродатчик; 3, 4 – соединительные кабели вибродатчиков; 5 – вычитающее устройство; 6, 8, 10 – соединительные кабели; 7- усилитель сигнала; 9 – преобразователь аналоговых сигналов в цифровые; 11 – блок управления; 12 – микроконтроллер; 13 – ПЭВМ; 15 – крепежные элементы в виде магнитов



Рисунок 6 – Схема размещения вибродатчиков для диагностирования элементов подвески легкового автомобиля: 1 – сигнальный кабель дополнительного вибродатчика; 2 – дополнительный вибродатчик; 3 – кронштейн установки индикатора для определения осевого зазора в шарнирном соединении механическим способом; 4 – основной вибродатчик; 5 – исследуемый элемент – шаровый шарнир; 6 – сигнальный кабель основного вибродатчика

пересеченной местностью, при движении по которым транспортного средства с определенной скоростью, возникают колебания колес, подвески и ходовой части (рис. 8).



Рисунок 7 – Испытание автомобиля с использованием специализированного диагностического стенда



Рисунок 8 – Испытание автомобиля в реальных условиях эксплуатации

Результаты и обсуждение

Диагностирование исследуемых сопряжений с помощью вибрационного способа заключается в создании колебаний в исследуемых подвижных элементах, что приводит к возникновению вибраций в них. Как показали исследования [14] эти вибрации пропорциональны величине зазора внутри исследуемого сопряжения. Затем полученные вибрации посредством вибродатчиков и блока управления преобразуются в электрические сигналы и с помощью специализированного программного обеспечения выводятся на экран компьютера в виде графиков. Полученные графики сравнивают с эталонными значениями виброускорений.

Эталонные значения виброускорений получают путем диагностирования сопряжений с заведомо известными зазорами, в частности с минимально возможными, для новых изделий без выработки. Затем величины этих зазоров сопоставляют с соответствующими им виброускорениями и получают графики зависимости виброускорения от степени зазора в исследуемом сопряжении для каждого сопряжения, которые и будут являться эталонными.

Устройство для механического измерения осевого зазора в сопряжении позволяет измерять зазор с точностью до 0,01 мм (рис. 9) для последующего сопоставления их с величиной виброускорения и получения эталонных графиков зависимости виброускорения от зазора в исследуемом сопряжении.

На рисунке 10 представлен вариант установки вибрационного датчика на головке нижней реактивной штанги задней подвески автомобиля Урал «Next».

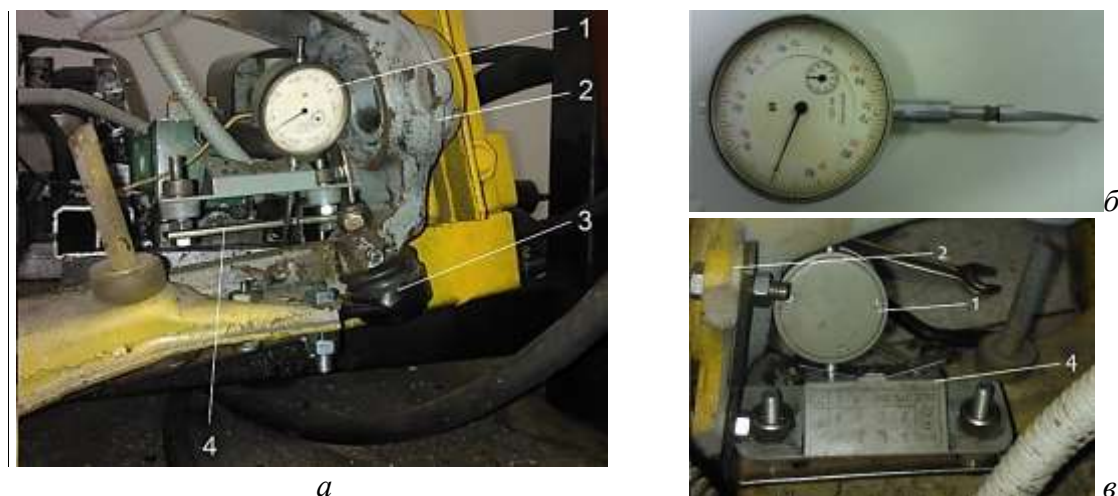


Рисунок 9 – Устройство для определения осевого зазора в шарнирном соединении механическим способом: а - установка устройства на легковом автомобиле; б - общий вид индикатора часового типа ИЧ-10; в - измерительное устройство - вид сзади; 1 – индикатор часового типа ИЧ-10; 2 – поворотный кулак передней подвески, 3 – исследуемый элемент – шаровый шарнир, 4 – кронштейн установки индикатора ИЧ-10

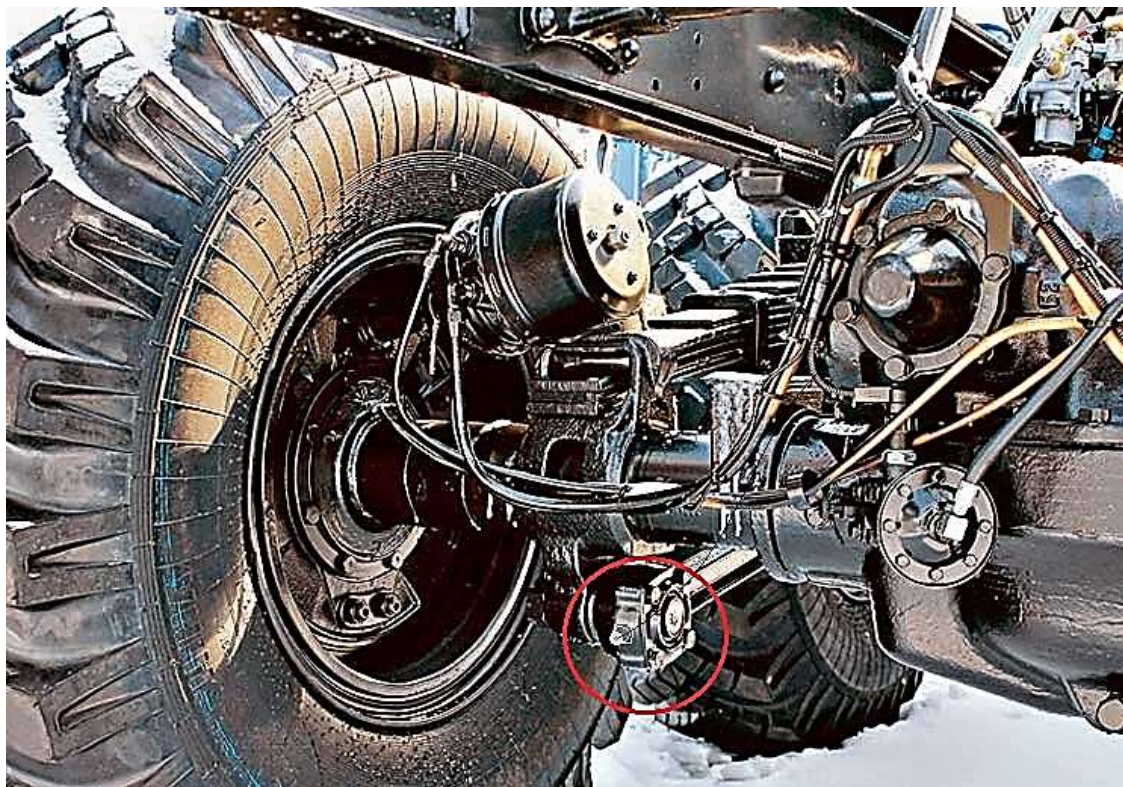


Рисунок 10 - Установка вибрационного датчика на головке нижней реактивной штанги задней подвески автомобиля Урал «Next»

Выводы

Ходовая часть оказывает непосредственное влияние как на безопасность движения, так и на работоспособность автомобиля в целом. Поэтому одной из важных задач службы эксплуатации и ремонта автомобильной техники является контроль ее технического состояния и поддержание в исправном состоянии. Таким образом, вибрационный способ для диагностирования сопряжений ходовой части позволит повысить точность измерения и снизить время проведения операции для автомобилей семейства Урал «Next».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Колчин В.С. Основы диагностики и технической эксплуатации автомобилей: Учебное пособие. Иркутск: ИрГТУ, 2006. 156 с.
3. 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.
4. Антропов В.В. Организация проверки технического состояния рулевого управления и трансмиссии грузовых автомобилей // Молодежь и наука. 2020. №1. С. 2.
5. Тебекин М.Д. и др. Математическое моделирование технического состояния шарового шарнира в условиях стендовых испытаний // Мир транспорта и технологических машин. 2014. №4(47). С. 39-46.
6. Kavitha C., Abinav Shankar S., Ashok B., Denis Ashok S., Usman Kaisan Muhammad. Adaptive suspension strategy for a double wishbone suspension through camber and toe optimization Engineering Science and Technology // International Journal. 2018.
7. 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.
8. Novikov A.N., Katunin A.A., Tebekin M.D., Novikov I.A. Vibration diagnostics as a way of defining car suspension bracket ball elements technical condition // International Journal of Applied Engineering Research. Vol. 10. №24. 2015. P. 44884-44888.
9. 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.
10. Логунов А.В., Береснев А.Л. Возможности виброакустического исследования и диагностики подвески транспортных средств // Известия ЮФУ. Технические науки. 2021. №1(218). С. 165-174.
11. Алексеев Е.А. Люфт-детекторы для диагностики подвески автомобилей // Молодежь и наука. Уральский государственный аграрный университет. Екатеринбург. 2018. №6. С. 56.
12. Родин А.А., Ланцев В.Ю., Эйден Н.А. Диагностирование и поиск неисправностей рулевого управления // Наука и Образование. Мичуринский государственный аграрный университет. Мичуринск. 2021. Т. 4. №2.
13. Оборудование для техосмотра [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.teh-avto.ru/product-category/>.
14. Шец С.П., Могилев А.Е. Механизм изнашивания пар трения в шарнирных соединениях рулевых приводов автомобилей // Транспортное машиностроение. 2023. №8(20). С. 18-25.

Тебекин Максим Дмитриевич

Академия ФСО России

Адрес: 302015, Россия, г. Орел, ул. Приборостроительная, 35

К.т.н., сотрудник

E-mail: tebekin_maksim@mail.ru

Гусяков Иван Владимирович

Академия ФСО России

Адрес: 302015, Россия, г. Орел, ул. Приборостроительная, 35

Сотрудник

E-mail: vanka_78@mail.ru

Сидоренко Александр Викторович

Академия ФСО России

Адрес: 302015, Россия, г. Орел, ул. Приборостроительная, 35

Сотрудник,

E-mail: am2257@yandex.ru

M.D. TEBEKIN, I.V. GUSYAKOV, A.V. SIDORENKO

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF THE VIBRATION METHOD FOR DIAGNOSING THE ELEMENTS OF THE CHASSIS ON THE EXAMPLE OF THE URAL «NEXT» CAR

Abstract. Maintaining the specified operability of automotive equipment used to perform combat missions is an urgent problem. One of the ways to achieve this is the use of digital technologies, in particular, the determination of gaps in mobile interfaces using vibration sensors. The article considers the diagnosis of the elements of the chassis of the Ural «Next» car using a vibration method both with the use of specialized stands and during the operation of the car.

Keywords: movable joints, axial clearance, undercarriage, traffic safety

BIBLIOGRAPHY

1. Savin L.O., Koroliov M.V. Organizatsiya TO AT v razlichnykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh ee ekspluatatsii // Sovremennyye avtomobil'nye materialy i tekhnologii: Sbornik materialov X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Kursk. 2018. S. 215-217.
2. Kolchin V.S. Osnovy diagnostiki i tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley: Uchebnoe posobie. Irkutsk: IrGTU, 2006. 156 s.
3. 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.
4. Antropov V.V. Organizatsiya proverki tekhnicheskogo sostoyaniya rulevogo upravleniya i transmissii gruzovykh avtomobiley // Molodezh' i nauka. 2020. №1. S. 2.
5. Tebekin M.D. i dr. Matematicheskoe modelirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya sharovogo sharnira v usloviyakh stendovykh ispytaniy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2014. №4(47). S. 39-46.
6. Kavitha C., Abinav Shankar S., Ashok B., Denis Ashok S., Usman Kaisan Muhammad. Adaptive suspension strategy for a double wishbone suspension through camber and toe optimization Engineering Science and Technology // International Journal. 2018.
7. 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.
8. Novikov A.N., Katunin A.A., Tebekin M.D., Novikov I.A. Vibration diagnostics as a way of defining car suspension bracket ball elements technical condition // International Journal of Applied Engineering Research. Vol. 10. №24. 2015. P. 44884-44888.
9. Kolpakova S.V., Novikov I.A. Metody diagnostirovaniya sharovykh sharnirov avtomobilya v usloviyakh servisnykh predpriyatiy // Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologiya: Sbornik nauchnykh statey 8-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo «Universitetskaya kniga». Kursk. 2018. S. 195-198.
10. Logunov A.V., Beresnev A.L. Vozmozhnosti vibroakusticheskogo issledovaniya i diagnostiki podveski transportnykh sredstv // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2021. №1(218). S. 165-174.
11. Alekseev E.A. Lyuft-detektory dlya diagnostiki podveski avtomobiley // Molodezh' i nauka. Ural'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. Ekaterinburg. 2018. №6. S. 56.
12. Rodin A.A., Lantsev V.Yu., Eyden N.A. Diagnostirovaniye i poisk neispravnostey rulevogo upravleniya // Nauka i Obrazovanie. Michurinskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. Michurinsk. 2021. T. 4. №2.
13. Oborudovanie dlya tekhnosmotra [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.teh-avto.ru/product-category/>.
14. Shets S.P., Mogilev A.E. Mekhanizm iznashivaniya par treniya v sharnirnykh soedineniyakh rulevykh privodov avtomobiley // Transportnoye mashinostroeniye. 2023. №8(20). S. 18-25.

Tebekin Maxim Dmitrievich

Russian Federation Security Guard Service Federal Academy
Address: 302015, Russia, Orel, Priborostroitel'naya str., 35
Candidate of technical sciences
E-mail: tebekin_maksim@mail.ru

Sidorenko Alexander Viktorovich

Russian Federation Security Guard Service Federal Academy
Address: 302015, Russia, Orel, Priborostroitel'naya str., 35
Employee
E-mail: am2257@yandex.ru

Gusakov Ivan Vladimirovich

Russian Federation Security Guard Service Federal Academy
Address: 302015, Russia, Orel, Priborostroitel'naya str., 35
Employee
E-mail: vanka_78@mail.ru

Научная статья

УДК.629.113.004

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-49-56

С.А. ГРЕБЕННИКОВ, В.Н. БАСКОВ, Г.О. КИСЕЛЕВ, А.В. РОГОЖИН

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ФАЗ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ПРОКРУТКИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА СТАРТЕРОМ

Аннотация. Поэлементное диагностирование технического состояния газораспределительного механизма автомобильного двигателя внутреннего сгорания современными бортовыми средствами не осуществляется по причине отсутствия надежных способов их реализации. В статье представлены результаты исследования нового способа и устройства для диагностирования газораспределительного механизма с определением отклонений значений структурных параметров в его сопряжениях и фаз газораспределения от их нормативных показателей по мгновенным изменениям последовательных значений угловой скорости коленчатого вала, прокручиваемого стартером двигателя с декомпрессированными цилиндрами

Ключевые слова: диагностирование, автомобильный двигатель, газораспределительный механизм, неравномерность технического состояния, прокрутка, стартер

Введение

Непрерывное повышение экологических и технико-экономических требований к автомобильным транспортным средствам (АТС) в процессе эксплуатации вызывают дополнительные трудности у фирм-производителей и коммерческих предприятий автомобильного транспорта (АТП) в обеспечении высокого уровня работоспособности основного его элемента – двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [1]. На долю автомобильных ДВС приходится свыше 20 % отказов, прекращающих выполнение транспортных или иных работ по назначению АТС, а также до 1/3 неисправностей, связанных с нарушениями регулировочных параметров в его механизмах и системах, негативно отражающихся на экологических показателях [14]. В обоих случаях желаемым результатом для инженерных служб АТП является ситуация, своевременно исключающая отказы и неисправности ДВС на линии путем выполнения предупредительного текущего ремонта или регулировочно-структурных преобразований в его механизмах и системах.

Подобные действия возможны только с использованием встроенных диагностических средств непрерывного контроля технического состояния и устройств адаптивного управления рабочими процессами ДВС. К одной из сложных задач в данном направлении развития АТС специалисты [2] относят разработку способа бортового контроля газораспределительного механизма (ГРМ), доля неисправностей и отказов которого по ДВС достигает 11 %. Из них наиболее частыми причинами (рисунок 1) являются отклонения «тепловых» зазоров в ГРМ, предельный износ (свыше 0,8...1,2 мм) профиля кулачков и недопустимое угловое смещение фаз газораспределения (выше $\pm 3^\circ$).

Следует отметить, если руководящими документами значение «тепловых» зазоров предписано проверять и восстанавливать при техническом обслуживании через установленный заводом – изготовителем пробег АТС (45 тыс. км и более), то выполнение операции по контролю соответствия профиля кулачков и фаз газораспределения нормативными требованиями не предусмотрено [6]. Средств диагностирования указанных показателей технического состояния ГРМ без частичной разборки ДВС – снятия клапанной крышки – нет, а способ диагностирования по вибрационным и акустическим показателям [8] не обладает универсальностью применения [10].

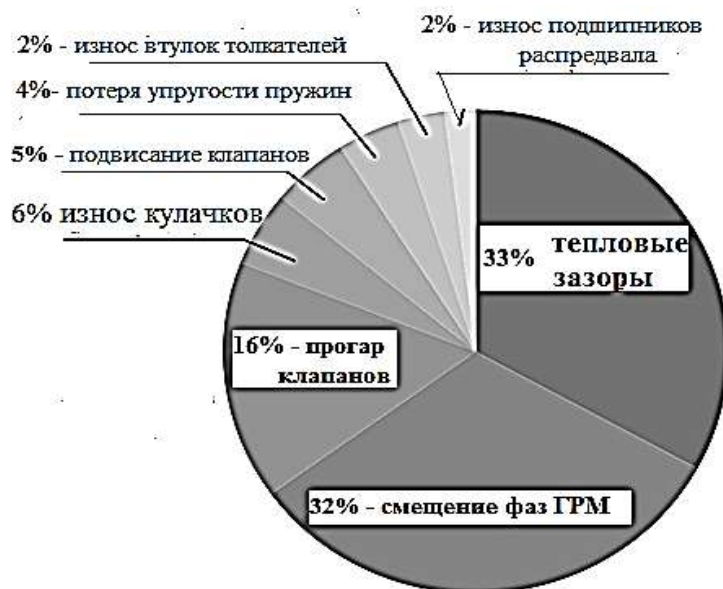


Рисунок 1 - Структура отказов и неисправностей в газораспределительном механизме

О важности контроля износа кулачков и смещения фаз газораспределения свидетельствуют эксплуатационные испытания АТС [4], показывающие, что по причинам отклонений этих параметров от номинальных значений, мощность и топливная экономичности ДВС снижаются до 7 % и более. Перечисленные обстоятельства определяют актуальность и практическую ценность данной работы.

Цель статьи – теоретически и экспериментально обосновать способ и средство диагностирования износа кулачков и смещения фаз в механизме газораспределения в режиме прокрутки стартером ДВС с декомпрессированными цилиндрами.

Материал и методы

Способ последовательного диагностирования сопряженных звеньев ГРМ по показателям внутрицикловых изменений угловой скорости ω коленвала (ВИУСКВ) по углу φ его поворота реализован на фундаментальном принципе Д'Аламбера [7].

В предложенном режиме (прокрутке стартером декомпрессированного ДВС) диагностирования за счет устранения действия моментов $M_{к\varphi}$ и $M_{н\varphi}$ от компрессионных сил и потерь на газообменные процессы в цилиндрах ДВС существенно повышена удельная доля составляющей $M_{МГР\varphi}$ от сил трения в сопряжениях кулачков РВ при открытии клапанов в суммарном моменте $M_{с\varphi}$ сопротивления, взаимосвязь которого с ВИУСКВ по углу φ с другими составляющими момента [5]

$$M_{с\varphi} = J\omega \cdot \frac{d\omega}{d\varphi} + \frac{dJ}{d\varphi} \cdot \frac{\omega^2}{2} = M_{м\varphi} + M_{ЦПГ\varphi} + M_{п\varphi} \pm M_{ГРМ\varphi}, \quad (1)$$

где $M_{м\varphi}$ – от механических потерь в подшипниках КШМ, ГРМ, системах охлаждения, электроснабжения и смазки;

$M_{ЦПГ\varphi}$ – от сил трения в ЦПГ;

$M_{п\varphi}$ – от переменного момента сил инерции от возвратно-поступательно движущихся масс в КШМ;

$M_{ГРМ\varphi}$ – от переменного момента прокрутки ГРМ из-за преодоления сил упругости клапанных пружин.

На рисунке 2 отображена взаимосвязь получаемого суммарного момента $M_{с\varphi}$ с ВИУСКВ по (1) при прокрутке коленчатого вала декомпрессированного ДВС стартером при осуществлении предложенного способа диагностирования ГРМ.

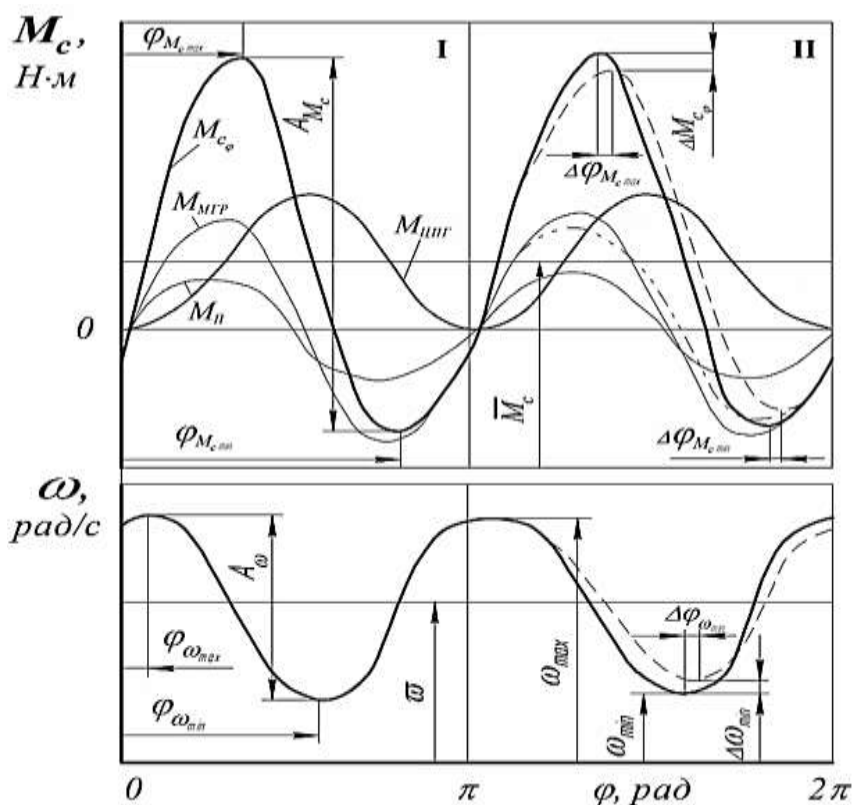


Рисунок 2 - График изменения момента $M_{c\phi}$ сопротивления вращению коленвала и его скорости ω по углу ϕ при прокручивании стартером декомпрессированного ДВС с технически исправным (—) и неисправным (---) состоянием ГРМ:

I, II – интервалы ϕ рабочих тактов в I и II цилиндрах; $A_{M_{c\phi}}$, A_ω - значения амплитуд $M_{c\phi}$ и ω ,
 $\phi_{M_{c\phi} \max}$, $\phi_{M_{c\phi} \min}$ и $\phi_{\omega \max}$, $\phi_{\omega \min}$ - значения фазовых положений экстремумов $M_{c\phi}$ и ω

Расчет

Для режима прокрутки КВ стартером ДВС 3МЗ 4Ч 9,2/9,2 (4021.10) с $\omega = 18...21$ рад/с, выполненный расчет влияния на момент сопротивления $M_{c\phi}$ возможных в процессе эксплуатации внутрицикловых (по периодам $T_\phi = 4\pi/z$ «мнимых» рабочих тактов в z цилиндрах) изменений составляющих (1) от их деградации [12], показал:

- составляющая $M_{n\phi}$ от сил инерции движущихся масс m КШМ ДВС с известным отношением радиуса R кривошипа к длине шатуна $\lambda = R/l$ [5]

$$M_{n\phi} = \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\phi} = 2mR^2\omega^2 \sin 2\phi + mR^2\omega^2\lambda^2 \sin 4\phi,$$

изменяется в пределах значений ± 5 Н·м, не оказывая влияния (рис. 2) на изменение экстремальных величин момента $M_{c\phi}$ и углов $\phi_{M_{c\phi} \max}$, $\phi_{M_{c\phi} \min}$ фазовых положений на всем периоде эксплуатации АТС, так как эксплуатационный износ в подвижных механизмах ДВС незначителен. Соответственно, на диаграмме угловой скорости $\omega_\phi = f(\phi) = f(M_{c\phi})$ от составляющей $M_{n\phi}$ не будет изменений показателей ВИЗУСКВ, вносящих погрешность на результат диагностирования ГРМ ДВС;

- не сказывается на диагностических показателях ВИЗУСКВ и составляющая момента $M_{M\phi}$ от механических потерь ДВС, так как её величина не изменяется по углу ϕ поворота КВ в процессе эксплуатации [10];

- составляющая $M_{ЦПГ\phi}$ от сил $P_{ЦПГ}$ трения в ЦПГ [17]

$$M_{ЦПГ\phi} = P_{ЦПГ} \cdot R \cdot \left(\sin \phi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\phi \right),$$

является величиной, одинаково изменяющейся во всех угловых интервалах φ , соответствующих «мнимым» рабочим тактам в декомпрессированных цилиндрах, вызванной давлением поршневых колец на стенки цилиндров и изменяющейся из-за их износа в процессе эксплуатации. Поэтому составляющая $M_{n\varphi}$ не оказывает влияние на показатели ВИУСКВ, отражающих смещение фаз ГРМ;

- величина нормальных усилий $P_{пр\varphi}$ на каждый кулачок РВ с начальным радиусом профиля $r_0 = 17 \pm 0,025$ мм от периодических сил упругости клапанных пружин с жесткостью $C_{пр} = 42$ кН/м изменяется в интервале 400...1015 Н (без учета сил трения в сопряжении «кулачек – толкатель – коромысло», зависящее от угла α контакта между ними). При известных текущих значениях подъема клапанного толкателя от 0 до $6,6 \pm 0,05$ мм по углу φ , расчетное значение момента $M_{ГРМ\varphi}$ [11], затрачиваемого на привод ГРМ

$$M_{ГРМ\varphi} \approx P_{пр\varphi} \cdot (r_0 + h_{т\varphi}) \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

периодически меняет величину и знак: от -7 до $+7$ Н·м. В действительности, с учетом сил трения в сопряжениях кулачковой пары при открытии клапана ГРМ значение момента $M_{ГРМ\varphi}$ превышает 30 Н·м, оказывая превалирующее влияние на диагностические показатели технического состояния ГРМ по ВИЗУСКВ в сравнении с другими составляющими (1).

Суммируя расчетные значения составляющих (1), окончательно отмечаем следующее:

- значения момента $M_{ГРМ\varphi}$ в режиме прокрутки стартером декомпрессированного ДВС (рис. 2) более, чем на 75 % определяют диагностические показатели амплитуд A_{Mc} момента $M_{с\varphi}$ сопротивления в пределах углов φ поворота КВ, кратным π , которые соответствуют последовательным «мнимым» рабочим ходам поршней в цилиндрах. Их разность амплитудных значений ΔA_{Mc} , как и угловые смещения их экстремумов $\Delta \varphi_{Mc \max}$, $\Delta \varphi_{Mc \min}$ (рис. 2) свидетельствуют о наличии износа в конкретных, совместно работающих парах выпускных и впускных клапанов (клапаны открываются только на двух тактах у каждого цилиндра – впуске и выпуске) или о нарушенных нормативных углах фаз газораспределения. Поскольку момент $M_{с\varphi}$ функционально связан (1) с угловой скоростью ω_φ , то аналогичные изменения будут отражаться и на диагностических показателях ВИУСКВ: амплитудах ΔA_ω и углах смещения экстремумов $\Delta \varphi_{\omega \max}$, $\Delta \varphi_{\omega \min}$, характеризующих величины износа кулачков и сдвига фаз ГРМ относительно их нормативных [3] значений;

- если в кратных π угловых интервалах значения фаз экстремумов угловых скоростей соответствуют нормативным диагностическим параметрам, то кинематическая цепь привода распределительного вала технически исправна.

Результаты



Рисунок 3 - Фазы газораспределения 4Ч 9,2/9,2:
А=12°; Б=60°; Г=54°; Д=18°

Экспериментальная часть исследований способа диагностирования ГРМ выполнена на ДВС 4Ч 9,2/9,2 с нормативными углами фаз газораспределения (рис. 3), указанными в подрисуночной подписи

При экспериментальной проверке способа диагностирования ГРМ искусственно изменяли значения износа кулачков и фаз на известные величины [13], которые сравнивались с результатами диагноза.

В качестве устройства для фиксации диаграмм изменения ВИЗУСКВ использовался, разработанный в СГТУ имени Гагарина Ю.А. [16], электронный диагностический прибор на основе цифровых технологий [9] (рис. 4 а).



Рисунок 4 - Устройство диагностирования элементов ГРМ ДВС (а) и энкодер BE-178A (б)

Преобразователь угловых перемещений коленчатого вала ДВС - инкрементный энкодер BE-178A, через переходник с самоцентрирующейся муфтой был вкручен вместо центрального болта на шкиве привода генератора (рис. 4 б). Погрешность квантования энкодером BE 178A угловых интервалов $\Delta\varphi$ КВ не более $15''$. Для получения необходимой точности сдвига фаз экстремумов ω , по получаемой в процессе диагностирования диаграмме ВИУСКВ $\omega_\varphi = f(\varphi)$, измерения значений ω_i осуществлялись в угловых интервалах $\Delta\varphi_i = 2,8$ градусов (64 точки в пределах $\varphi = 0 \dots \pi$, рис. 5).

Контроль скоростного режима диагностирования ГРМ ДВС осуществлялся автоматически устройством с обеспечением среднего значения прокрутки $\omega_{\text{ср}} = 19 \pm 0,2$ рад/с коленчатого вала. Диаграммы показателей ВИЗУСКВ регистрировались при тепловом режиме моторного масла и охлаждающей жидкости, равном $95 \pm 5^\circ \text{C}$ [16].

Экспериментальная проверка подтвердила эффективность теоретически обоснованного способа диагностирования ГРМ по диагностическим показателям - амплитудам ΔA_ω угловых скоростей, отражающим износ конкретных клапанов ГРМ, и углам смещения экстремумов $\Delta\varphi_{\omega \text{ max}}$, $\Delta\varphi_{\omega \text{ min}}$ - отклонение фаз от нормативных значений.

На рисунке 5 показаны фрагменты результатов экспериментального исследования способа диагностирования ГРМ по характерным точкам диаграммы $\omega_\varphi = f(\varphi)$, частичные пояснения к которым приведены на рисунках в соответствии с обозначениями, изложенными в теоретической части статьи.

Выводы

Сравнивая полученные при диагностировании параметры угловых скоростей, соответствующих работе привода клапанов (впускного в I цилиндре, выпускного во II-м, впускного в III цилиндре и выпускного в I-м цилиндре) фиксируемые попарно, соответственно, при рабочих ходах четвертого ($\varphi = 0 \dots \pi$ рад.) и второго ($\varphi = \pi \dots 2\pi$ рад.) цилиндров (рис. 5), отмечаем:

- периоды между точками 2-3 и 5-6 и наблюдающиеся в них колебания угловой скорости характеризуют моменты открытия клапанов с отклонениями от нормативных значений по углам фаз газораспределения. Отмечено, что точка 5 (рис. 5), расположена раньше, чем конструктивно заложенное открытие выпускного клапана четвертого цилиндра, что позволяет констатировать, что выпускной клапан 2-го цилиндра открывается раньше на $5,6$ градусов относительно нормируемого;

- одинаковое смещение начала характерных колебаний относительно эталонно-нормативных значений свидетельствует о нарушенных фазах работы всех клапанов ГРМ. Если же смещение наблюдается в конкретном цилиндре, то это может означать несоблюдение в нем необходимого «теплового» зазора клапанов (износа зоны контакта кулачка с толкателем).

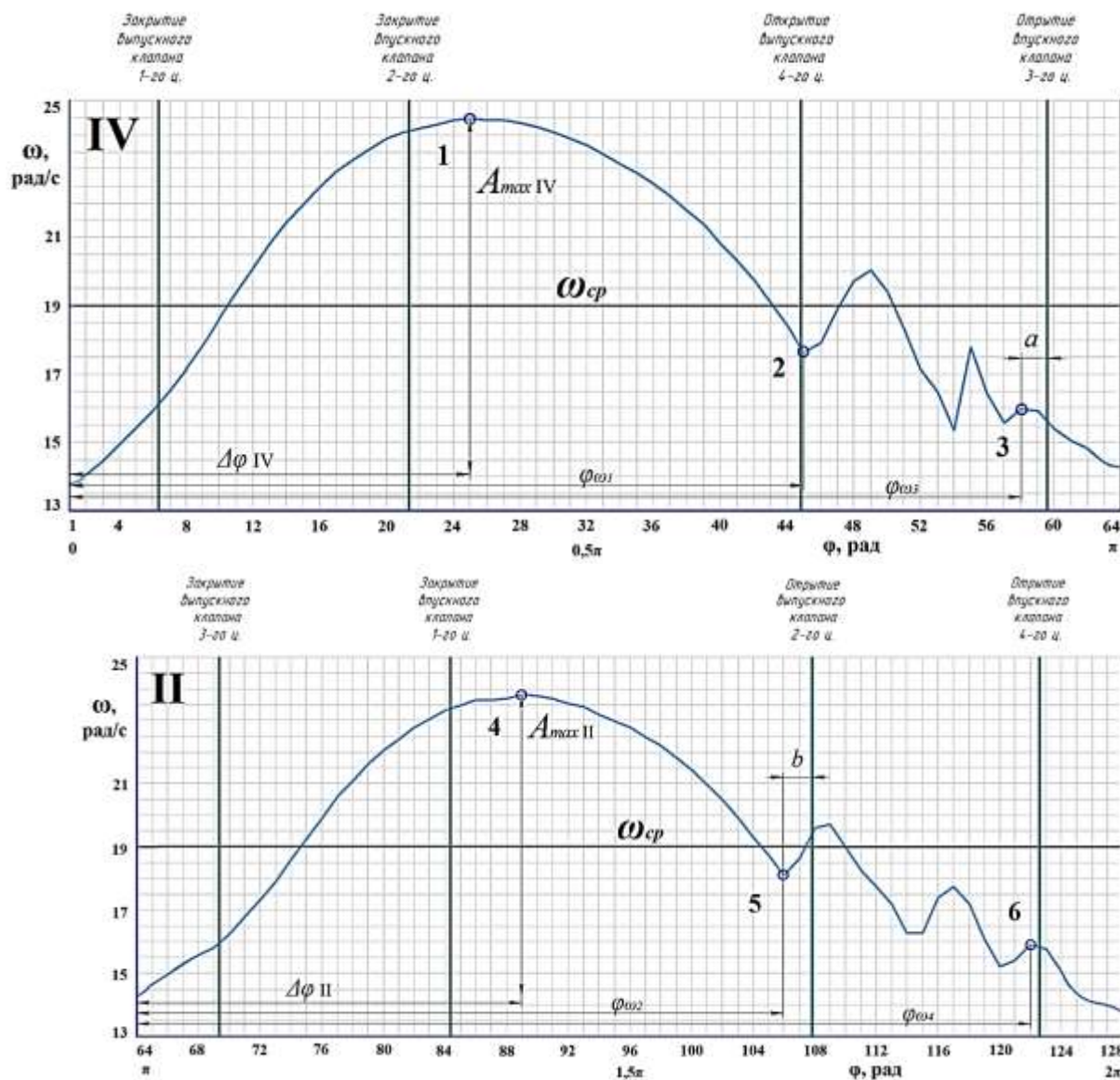


Рисунок 5 - Диаграммы угловой скорости ω по углу ϕ коленчатого вала в режиме прокрутки стартером ДВС 4Ч 9,2/9,2 с декомпрессированными цилиндрами:

IV и II – соответственно такты «многого» рабочего хода в 4 ($0 \dots \pi$) и 2 цилиндрах ($\pi \dots 2\pi$)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.В., Баженов М.Ю. Основы надежности и работоспособности технических систем: учебное пособие. Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. Владимир: ВлГУ, 2017. 267 с.
2. Болдин А.П., Сарбаев В.И. Надёжность и техническая диагностика подвижного состава автомобильного транспорта: теоретические основы. М.: МАИИ, 2010. 206 с.
3. Бородин А.Л., Васильев В.И., Шабуров В.Н. Методика синтеза алгоритма постановки диагноза агрегатов и систем автомобиля // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Симферополь: КИПУ, 2022. №4(78). С. 231-237.
4. Васильев А.В. Синтез характеристик газораспределения поршневого двигателя: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2016. 344 с.
5. Вальехо Мальдонадо П.Р., Чайнов Н.Д. Расчет кинематики и динамики рядных поршневых двигателей. М.: ИНФРА-М, 2022. 259 с.
6. Системы телеметрии и мониторинга сельскохозяйственной техники: монография / И.Г. Голубев, Н.П. Мишуров, В.Я. Гольяпин и др. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2020. 176 с.
7. Гребенников С.А., Басков В.Н., Гребенников А.С. и др. Диагностирование трансмиссии автомобилей по показателям неравномерности вращения её элементов // Грузовик. 2022. №3. С. 9-15.
8. Гриценко А.В., Шепелев В.Д., Бурцев А.Ю. Диагностирование газораспределительного механизма на основе контроля виброколебаний его элементов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2022. Т. 22.

№ 1. С. 36-47.

9. Дидманидзе О.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов // Техника и оборудование для села. 2020. №11(281). С. 39-43.
10. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Альт В.В. и др. Точность идентификации состояния двигателей внутреннего сгорания с настраиваемой моделью с помощью измерительной экспертной системы // Вычислительные технологии. 2021. Т. 26. №6. С. 54-67.
11. Егоров А.В., Кузовков С.Г., Кожин Д.В., Дмитриев С.В. Бестормозной метод определения момента инерции КШМ V-образных ДВС // Автомобильная промышленность. 2010. №12. С. 27-30.
12. Новиков В.А., Седов И.В., Богачев Ю.В. Некоторые аспекты защиты результатов интеллектуальной деятельности на примере исследования влияния отклонения конструктивных параметров двигателя внутреннего сгорания на неравномерность частоты вращения // Автомобильная промышленность. 2022. №1. С. 27-31.
13. Техническое обеспечение измерительных экспертных систем машин и механизмов в АПК / В.В. Альт, И.П. Добролюбов, О.Ф. Савченко, С.Н. Ольшевский // Под ред. В.В. Альта. Новосибирск: ГНУ СибФТИ. 2013. 523 с.
14. Boldin A.P., Sarbaev V.I., Aksenov P.V. Diagnostics of passenger cars and minibuses with diesel engines for compliance with euro emissions standards // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. Vol. 8. 2017. P. 933-943.
15. Grebennikov A.S., Grebennikov S.A., Konovalov A.V., Kosareva A.V. Forecasting the service life of elements with the same name in a car as a function of the conditions of their interaction and nonuniformity of initial states // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. Vol. 37. 2008. P. 87-93.
16. Grebennikov S.A., Denisov A.S., Baskov V.N., Grebennikov A.S. and Nosov A.O.. The Kinetics of Reducing the Diesel Resource with Changes in Oil Volume in the Crankcase [Электронный ресурс] // AIP Conference Proceedings. Vol. 2784. 050011-1 – 050011-4. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0140705>.
17. Agureev I.E., Elagin M.Y., Khmelev R.N. [et al.] Using experience of the dynamic models of piston internal combustion engines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference Interstroyemeh – 2019. Kazan: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012080. DOI 10.1088/1757-899X/786/1/012080.

Гребенников Сергей Александрович;

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Адрес: 410054, Россия, Саратов, ул. Политехническая, д. 77
К.т.н., доцент, доцент
E-mail: sa.greb@mail.ru

Басков Владимир Николаевич,

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Адрес: 410054, Россия, Саратов, ул. Политехническая, д. 77
Д.т.н., доцент, профессор
E-mail: sedankin29@mail.ru

Киселёв Глеб Олегович;

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Адрес: 410054, Россия, Саратов, ул. Политехническая, д. 77
Аспирант
E-mail: kiselew.gl@yandex.ru

Рогожин Алексей Васильевич;

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Адрес: 410054, Россия, Саратов, ул. Политехническая, д. 77
Аспирант
E-mail: rogozhin-97@mail.ru

S.A. GREBENNIKOV, V.N. BASKOV, G.O. KISELEV, A.V. ROGOZHIN

DIAGNOSIS OF THE TIMING PHASES OF THE ENGINE IN THE CRANKSHAFT SCROLL MODE BY THE STARTER

***Abstract.** Piecemeal diagnostics of the technical condition of the gas distribution mechanism of internal combustion engines in the modern development of motor transport by on-board means is not carried out due to the lack of reliable ways to implement them. The article presents the results of a study of a new method and device for diagnosing a gas distribution mechanism with the determi-*

nation of deviations in the values of the structural parameters of camshaft cams and valve timing phases from their normative indicators for instantaneous changes in the angular velocity of the crankshaft in the scroll mode by the starter of a decompressed engine.

Keywords: diagnostics, car engine, gas distribution mechanism, uneven technical condition, scrolling, starter

BIBLIOGRAPHY

1. Bazhenov Yu.V., Bazhenov M.Yu. Osnovy nadezhnosti i rabotosposobnosti tekhnicheskikh sistem: uchebnoe posobie. Vladim. gos. un-t im. A. G. i N. G. Stoletovykh. Vladimir: VIGU, 2017. 267 s.
2. Boldin A.P., Sarbaev V.I. Nadiozhnost' i tekhnicheskaya diagnostika podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: teoreticheskie osnovy. M.: MAII, 2010. 206 s.
3. Borodin A.L., Vasil'ev V.I., Shaburov V.N. Metodika sinteza algoritma postanovki diagnoza agregatov i sistem avtomobilya // Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Simferopol': KIPU, 2022. №4(78). S. 231-237.
4. Vasil'ev A.V. Sintez kharakteristik gazoraspredeleniya porshnevogo dvigatelya: monografiya. Volgograd: VolGTU, 2016. 344 s.
5. Val'ekho Mal'donado P.R., CHaynov N.D. Raschet kinematiki i dinamiki ryadnykh porshnevykh dvigateley. M.: INFRA-M, 2022. 259 s.
6. Sistemy telemekhaniki i monitoringa sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: monografiya / I.G. Golubev, N.P. Mishurov, V.Ya. Gol'tyapin i dr. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh». 2020. 176 s.
7. Grebennikov S.A., Baskov V.N., Grebennikov A.S. i dr. Diagnostirovanie transmissii avtomobiley po pokazatelyam neravnomernosti vrashcheniya ego elementov // Gruzovik. 2022. №3. S. 9-15.
8. Gritsenko A.V., Shepelev V.D., Burtsev A.Yu. Diagnostirovanie gazoraspredelitel'nogo mekhanizma na osnove kontrolya vibrokolebaniy ego elementov // Vestnik YUUrGU. Seriya «Mashinostroenie». 2022. T. 22. № 1. S. 36-47.
9. Didmanidze O.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Tendentsii razvitiya tsifrovyykh tekhnologiy diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya traktorov // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2020. №11(281). S. 39-43.
10. Dobrolyubov I.P., Savchenko O.F., Al't V.V. i dr. Tochnost' identifikatsii sostoyaniya dvigateley vnutrennego sgoraniya s nastraivayemoy model'yu s pomoshch'yu izmeritel'noy ekspertnoy sistemy // Vychislitel'nye tekhnologii. 2021. T. 26. №6. S. 54-67.
11. Egorov A.V., Kuzovkov S.G., Kozhin D.V., Dmitriev S.V. Bestormoznoy metod opredeleniya momenta inertsii KSHM V-obraznykh DVS // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2010. №12. S. 27-30.
12. Novikov V.A., Sedov I.V., Bogachev Yu.V. Nekotorye aspekty zashchity rezul'tatov intellektual'noy deyatel'nosti na primere issledovaniya vliyaniya otkloneniya konstruktivnykh parametrov dvigatelya vnutrennego sgoraniya na neravnomernost' chastoty vrashcheniya // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2022. №1. S. 27-31.
13. Tekhnicheskoe obespechenie izmeritel'nykh ekspertnykh sistem mashin i mekhanizmov v APK / V.V. Al't, I.P. Dobrolyubov, O.F. Savchenko, S.N. Ol'shevskiy // Pod red. V.V. Al'ta. Novosibirsk: GNU SibFTI. 2013. 523 s.
14. Boldin A.P., Sarbaev V.I., Aksenov P.V. Diagnostics of passenger cars and minibuses with diesel engines for compliance with euro emissions standards // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. Vol. 8. 2017. P. 933-943.
15. Grebennikov A.S., Grebennikov S.A., Konovalov A.V., Kosareva A.V. Forecasting the service life of elements with the same name in a car as a function of the conditions of their interaction and nonuniformity of initial states // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. Vol. 37. 2008. P. 87-93.
16. Grebennikov S.A., Denisov A.S., Baskov V.N., Grebennikov A.S. and Nosov A.O.. The Kinetics of Reducing the Diesel Resource with Changes in Oil Volume in the Crankcase [Elektronnyy resurs] // AIP Conference Proceedings. Vol. 2784. 050011-1 - 050011-4. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0140705>.
17. Agureev I.E., Elagin M.Y., Khmelev R.N. [et al.] Using experience of the dynamic models of piston internal combustion engines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference Interstroyemeh - 2019. Kazan: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012080. DOI 10.1088/1757-899X/786/1/012080.

Grebennikov Sergey Alexandrovich;
Saratov State Technical University
Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic, 77
Candidate of technical sciences
E-mail: sa.greb@mail.ru

Baskov Vladimir Nikolaevich,
Saratov State Technical University
Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic, 77
Doctor of technical sciences
E-mail: sedankin29@mail.ru

Kiselyov Gleb Olegovich;
Saratov State Technical University
Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic, 77
Graduate student
E-mail: kiselew.gl@yandex.ru

Rogozhin Alexey Vasilyevich;
Saratov State Technical University
Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic, 77
Graduate student
E-mail: rogozhin-97@mail.ru

Научная статья

УДК 621.43.068.74

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-57-67

Л.С. ТРОФИМОВА, А.В. ЗАЛОЗНОВ, Б.С. ТРОФИМОВ

МЕТОДИКА ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА В УСЛОВИЯХ ЗАПУСКА ХОЛОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Аннотация. В статье сделан акцент на обеспечение экологической безопасности автомобильного транспорта за счёт исследования системы «Условия запуска холодного двигателя – Автомобиль – Экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси». Разработана математическая модель функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля. Разработанная схема алгоритма методики уточнения актуальных экологических показателей функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля представляет собой взаимосвязь теоретических и экспериментальных исследований для определения вероятностных параметров системы.

Ключевые слова: природно-климатические условия, запуск холодного двигателя, экологические показатели, каталитический нейтрализатор, тепловой поток смеси, математическая модель

Введение

Президент РФ В.В. Путин в ходе послания к Федеральному Собранию поставил задачу к 2024 году снизить объем вредных выбросов в атмосферу на 20 %, в том числе за счет транспорта. В рамках решения задач, поставленных Президентом, необходимо уделять внимание обеспечению экологической безопасности автотранспортного комплекса.

Исследования данных, представленных Федеральной службой государственной статистики позволило установить, что в 2022 г. наблюдается прирост количества автотранспортных средств на 13,4 % больше в сравнении с 2015 г., когда числилось 50657000 ед. автомобилей. В Российской Федерации в 2022 году зафиксировано 50609000 ед. легковых автомобилей, в том числе в собственности граждан 47868000 ед.

Анализ официальной статистики в РФ, Сибирском Федеральном Округе и в Омской области показал изменение количества легковых автомобилей в собственности граждан. В Российской Федерации в 2015 году было зафиксировано 42251000 ед. К 2022 году это количество выросло на 13,3 % и стало равно 47868000 ед., что является максимальным наблюдаемым значением. Средний темп прироста легковых автомобилей в собственности граждан в Российской Федерации за последние 5 лет равен 1,85 %. Количество легковых автомобилей в собственности граждан в Сибирском Федеральном Округе в 2022 г. составил 5319000 ед.

При анализе изменения количества легковых автомобилей определяется уровень выбросов в атмосферу загрязняющих веществ. К наиболее распространенным загрязняющим атмосферу веществам относятся оксид углерода, летучие органические соединения, оксиды азота, сажа и диоксид серы. Приблизительные доли этих веществ в общем количестве загрязнений составляют 70 %, 8 %, 18,5 %, 0,5 % и 0,8 % соответственно.

В 2022 г. в Сибирском федеральном округе от передвижных источников было зарегистрировано 865,4 тыс. т выбросов, что удельно составляет 13 % от общего количества загрязняющих атмосферу выбросов по федеральному округу.

По доли от количества выбросов передвижными источниками в Российской Федерации Сибирский федеральный округ занимает 3 место с показателем равным 17,2 %.

В Омской области в 2022 г. статистический мониторинг зафиксировал 59,2 тыс. загрязняющих атмосферу выбросов от передвижных источников, что по удельному весу составляет 26,4 % от общего количества по области. Омская область занимает 7 место в Сибирском федеральном округе по доли (6,8 %) от количества выбросов передвижными источниками в сравнении с такими регионами как Алтайский край (33,3 %), Красноярский край (22,9 %), Новосибирская область (10,9 %), Томская область (8,2 %), Кемеровская область (7,2 %), Иркутская область (7,1 %).

В этих условиях актуальным является применение каталитических нейтрализаторов, обеспечивающих полный переход на выпуск в обращение автомобилей, соответствующим экологическому классу ЕВРО-3. По предписанию технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» производимые и выпускаемые в продажу на территории РФ автомобили, оснащенные двигателями внутреннего сгорания с принудительным зажиганием, проверяются на соответствие экологических норм по Правилам Европейской экономической комиссии ООН № 83-06. Проводятся испытания типа VI при низкой температуре окружающей среды, созданной в лабораторных условиях, которая составляет в среднем $-7\pm 3^{\circ}\text{C}$. Для категории транспортных средств М масса СО не должна превышать 15 г/км, а масса СН не должна превышать 1,8 г/км.

Условия испытания не соответствуют умеренно климатическому району, в котором зафиксированы максимальные значения выбросов от автомобилей.

Согласно ГОСТ 16350-80 «Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей» г. Омск относится к умеренно холодному климатическому району. Сравнение температурных условий г. Омска с условиями при проведении испытаний типа VI представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение природно-климатических условий г. Омска с условиями при проведении испытаний типа VI

Природно-климатические условия	Условия г. Омска	Условия испытаний типа VI	Абсолютное отклонение
Средняя температура окружающего воздуха в зимние месяцы, °С	от -7,5 до -27,9	-7 ± 3	от 0 до 23,9
Абсолютная влажность воздуха, г Н ₂ О на 1 кг сухого воздуха	-	от 5,5 до 12,2	$\pm 5\%$
Средняя годовая относительная влажность, %	71	-	$\pm 18,3\%$
Абсолютный минимум окружающего воздуха, °С	-45,5	-	-
Средняя продолжительность периода со снежным покровом, дней	163	-	-
Средняя скорость ветра в зимние месяцы, м/с	2,5	-	-

Суточный перепад температуры воздуха составляет до 27 %. Среднесуточная температура воздуха в холодных условиях запуска двигателя изменяется от $-9,9^{\circ}\text{C}$ до $-49,9^{\circ}\text{C}$. Анализ данных, представленных в таблице 1, свидетельствует об отклонениях лабораторных условий для проведения испытаний типа VI от реальных условий эксплуатации автомобилей при холодном запуске двигателя легкового автомобиля. В результате исследования природно-климатических условий эксплуатации в Сибирском федеральном округе сделан вывод о значительных отклонениях экспериментальных условий от реальных условий эксплуатации легковых автомобилей, что не позволяет определить актуальные экологические параметры для применения каталитического нейтрализатора при условиях холодного запуска двигателя легкового автомобиля.

Л.Г. Резник, С.А. Эртман определили необходимость учёта влияния суровых зимних условий на характеристики двигателя автомобиля. Л.Г. Резник и С.А. Эртман, изучив связи между температурой окружающего воздуха, временем прогрева двигателей и расхода ими топлива, установили закономерности изменения времени прогрева двигателей.

Matthaios, L.J. Kramer, R. Sommariva [1] провели исследования и установили, что при холодном запуске двигателя увеличивается количество выбросов CO и CH.

А.М. А. Husseinac, K.G. Burraa, G. Bassionib и др. [2] провели теоретические исследования о количестве выбросов и указали, что генерация монооксида углерода в результате расщепления CO₂ в настоящее время имеет большее значение, чем когда-либо прежде, в связи с непрерывным повышением уровня CO₂ в атмосфере. Е. Korin [3] показал зависимость эффективности нейтрализации выбросов CO и CH от рабочей температуры катализатора. А.Э. Аббасов [4] предложил использовать объем выбросов вредных веществ для оценки токсичности автомобиля Volkswagen Passat. Д.С. Аймуханов [5] выполнил теоретические исследования по сравнению величин выбросов на стоянках автомобилей, оборудованных каталитическими нейтрализаторами и без них, однако экспериментальная проверка не проводилась.

Исследователи С.В. Гусаков, А.З. Шарипов [6] изучили характеристики двигателя автомобиля при режимах холодного запуска и прогрева и сделали вывод о том, что процесс смесеобразования влияет на величину выбросов. Авторы [6] предложили мероприятия, направленные на снижение массы выбросов. Исследования проводились в различных фазах городского ездового цикла.

М. Gumus [7] измерил содержание CO и CH в отработавших газах 1,6 л бензинового ДВС FORD MVH 416 ZETEC до и после каталитического нейтрализатора при температуре окружающего воздуха 2° C и давлении 1 атм. Тем самым, было показано, что работа бензинового двигателя на обогащенной смеси сопровождается повышенным выделением вредных веществ, преобладающее количество которых происходит при холодном запуске двигателя, когда обычный 3-компонентный нейтрализатор практически не действует.

Н.А. Печеницына, Р.Б. Рашевский, Е.С. Ширинкина [8] исследовали каталитическое дожигание выхлопных газов двигателя и установили температуру реакции.

А.П. Шайкин, И.Р. Галиев [9] для расчета полноты сгорания топлива предложили формулу, учитывающую состояние и равенство давлений в сгоревшей и несгоревшей зоне камеры сгорания. Метод теории подобия и анализ размерностей позволил авторам работы [10] определить скорость оседания частиц газа в процессе ультразвуковой коагуляции при проведении эксперимента на ультразвуковом стенде.

М.Г. Бояршинов, Н.И. Кузнецов [11] установили зависимости между временем работы силовой установки транспортного средства в режиме холостого хода и температурой поверхностей системы выпуска отработавших газов путем измерения температуры отдельных составляющих выпускной системы.

Учеными доказана необходимость проведения испытаний в различных эксплуатационных условиях работы автомобиля. Liu Y., Ge Y., Tan J. и др. [12] проводили лабораторные стендовые испытания транспортных средств с учетом условий Нового Европейского цикла вождения (NEDC) и Всемирного Гармонизированного цикла испытаний легких транспортных средств (WLTC) для получения параметров работы каталитического нейтрализатора.

А.В. Гриценко, К.В. Глемба, Г.Н. Салимоненко [13, 14] сделали вывод о вероятностном состоянии каталитических нейтрализаторов и обосновали нижние и верхние пределы изменения варьируемых параметров токсичности.

Р. Charula, В. Nilesh, Р. Srinivas [15] делают вывод о необходимости контроля массы оксида углерода (CO), несгоревших углеводородов (HC) и оксида азота (NO) путем соблюдения строгих норм выбросов автомобилей.

Постоянное повышение экологических требований к выбросам вредных веществ заставляет автопроизводителей совершенствовать системы очистки выхлопных газов.

Проблема холодного запуска и последующего прогрева каталитического нейтрализатора остается по-прежнему актуальной для определения экологических показателей его функционирования.

Исследования современного состояния теоретических положений по обеспечения экологической безопасности автотранспортного комплекса показали, что работа каталитического нейтрализатора в легковых автомобилях является элементом системы, обеспечивающей экологические параметры, требуемые для ЕВРО-3. Работа каталитического нейтрализатора должна обеспечивать показатели СО и СН, величины которых определяются экспериментально в реальных условиях.

Применение каталитических нейтрализаторов весьма эффективно для снижения массы СО и массы СН для категории транспортных средств М с учетом условий холодного запуска двигателя легкового автомобиля в условиях Сибирского федерального округа. Целью исследования является разработка методики для уточнения актуальных экологических показателей функционирования каталитического нейтрализатора и определение их достоверных значений в реальных условиях эксплуатации Сибирского федерального округа при холодном запуске двигателя легкового автомобиля.

В рамках указанной цели решаются следующие задачи:

- изучение природно-климатических условий Сибирского федерального округа (на примере г. Омска) и сравнение их с условиями при проведении испытаний типа VI для определения актуальных экологических показателей каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля;

- формирование системы «Условия запуска холодного двигателя – Автомобиль - Экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси» и определение характеристик этой системы для установления взаимосвязи между природно-климатическими условиями запуска холодного двигателя легкового автомобиля, характеристиками двигателя легкового автомобиля и результатами работы каталитического нейтрализатора;

- разработка математической модели функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля;

- разработка методики, представляющей собой взаимосвязь теоретических и экспериментальных исследований для уточнения вероятностных экологических показателей функционирования каталитического нейтрализатора.

Материал и методы

Для определения показателей функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя исследуется система «Условия запуска холодного двигателя – Автомобиль - Экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси». В исследовании применяются следующие принципы системного анализа:

- 1) целостность, позволяющая рассматривать одновременно разработанную систему как единое целое и в то же время как подсистему для экологической безопасности автотранспортного комплекса, определяемую экологическими показателями, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси.

- 2) иерархичность строения характеризуется подчинением функционирования системы «Условия запуска холодного двигателя – Автомобиль - Экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси» требованиям экологической безопасности транспортного комплекса.

- 3) структурность проявляется в установленных характеристиках для элементов системы:

- условия запуска холодного двигателя автомобиля;
- характеристики легкового автомобиля – двигатель внутреннего сгорания, выпускной коллектор, каталитический нейтрализатор;

- экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси.

При разработке схемы алгоритма методики учитывались подходы, сформированные в теории вероятностей и математической статистики. Реализация методики представляет собой последовательное выполнение этапов, указанных на схеме.

Теория

Взаимосвязь элементов системы «Условия запуска холодного двигателя – Автомобиль – Экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси» для определения показателей функционирования каталитического нейтрализатора приведена на рисунке 1.

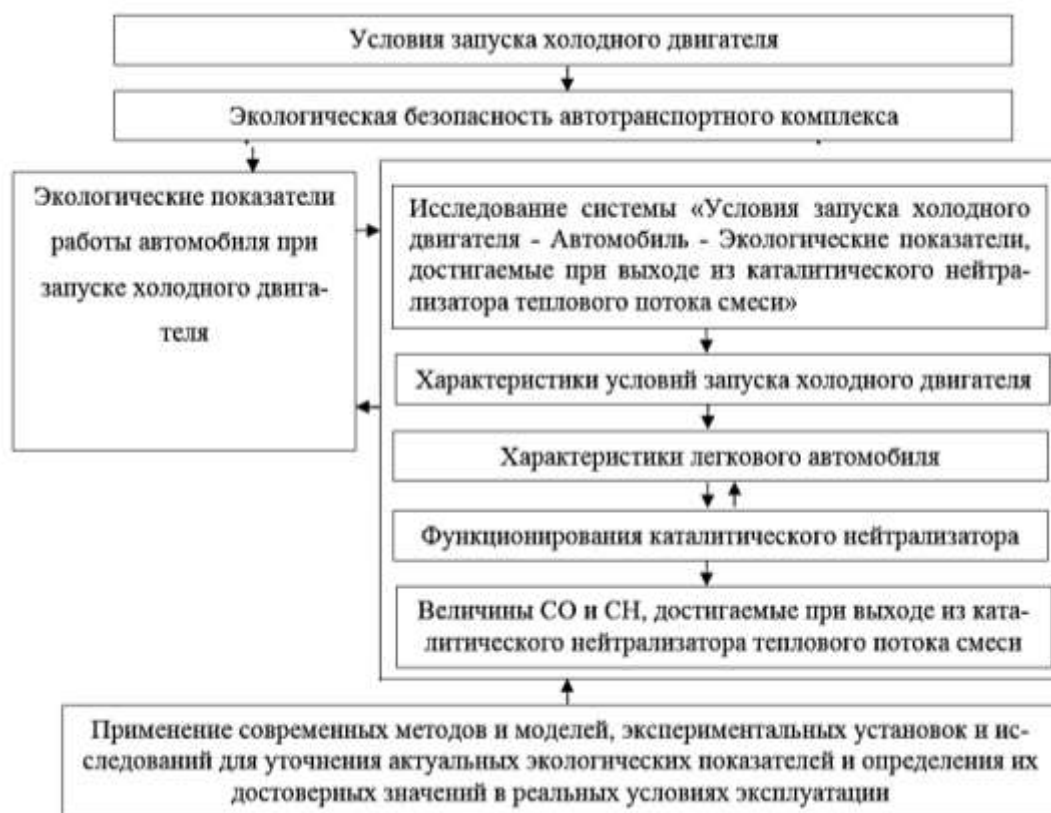


Рисунок 1 – Взаимосвязь элементов системы «Условия запуска холодного двигателя – Автомобиль – Экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси»

На рисунке 2 представлены характеристики элементов системы. Тепловой поток отработавших газов на выходе из камер сгорания, характеризующийся расходом воздуха и расходом топлива, определяет массу CO и CH при выходе из каталитического нейтрализатора. В исследовании определяются характеристики автомобиля при влиянии условий холодного запуска двигателя. Для уточнения актуальных экологических показателей учитываются характеристики двигателя внутреннего сгорания, выпускного коллектора, каталитического нейтрализатора.

Использование современных методов и моделей, экспериментальных установок и исследований направлено на определение вероятностных характеристик системы, массы CO и CH, достигаемых при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси.

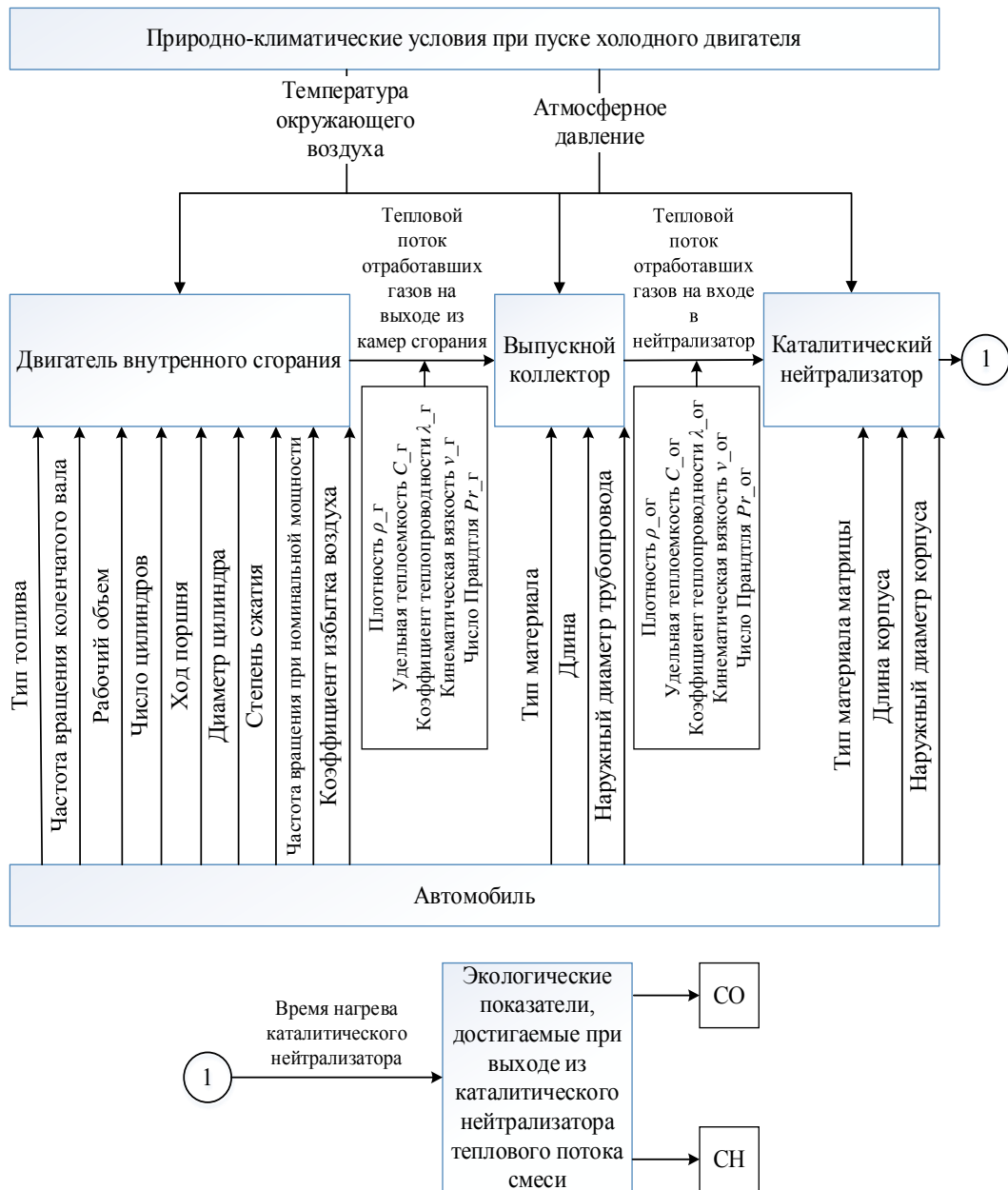


Рисунок 2 – Характеристики элементов системы «Условия запуска холодного двигателя – Автомобиль – Экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси» для определения показателей функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля

Результаты и обсуждение

Функционирование каталитического нейтрализатора начинается, когда величины CO и CH начинают стремиться к минимальным значениям в определенный момент времени и при конкретной температуре (1), (2). Функционирование каталитического нейтрализатора описывается с учетом взаимосвязи между составом рабочей смеси, поступающей в камеру сгорания двигателя, и содержанием CO и CH в выхлопных газах (3), (4). Это является причиной установления значений показателей расхода топлива и расхода воздуха при работе бензинового двигателя.

$$\tau_{CO,CH,j} = \begin{cases} \tau_{нагрева,j}, & \text{если } V_{CO,j} \rightarrow 0; W_{CH,j} \rightarrow 0, \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad j = \overline{J_{min}, J_{max}}, \quad (1)$$

где j – значение температуры окружающего воздуха в условиях запуска холодного двигателя, °C; $j = \overline{J_{min}, J_{max}}$;

J_{min} – минимальное значение температуры окружающего воздуха в условиях запуска хо-

лодного двигателя, °C;

J_{max} – максимальное значение температуры окружающего воздуха в условиях запуска холодного двигателя, °C;

$\tau_{CO,CH,j}$ – время, когда содержание СО и СН начинает стремиться к нулевыми значениями от первоначальных, измеряемых при холодном запуске двигателя при j -ой температуре окружающего воздуха, с;

$\tau_{нагрева,j}$ – время нагрева каталитического нейтрализатора, измеряемое после холодного запуска двигателя при j -ой температуре окружающего воздуха, с;

$V_{CO,j}$ – значение содержания СО в отработавших газах при выходе из каталитического нейтрализатора при j -ой температуре окружающего воздуха, %;

$W_{CH,j}$ – значение содержания СН в отработавших газах при выходе из каталитического нейтрализатора при j -ой температуре окружающего воздуха, ppm.

$$T_{CO,CH,j} = \begin{cases} T_{KHj}, \text{ если } V_{CO,j} \rightarrow 0; W_{CH,j} \rightarrow 0, \\ 0, \text{ в противном случае;} \end{cases} j = \overline{J_{min}, J_{max}}, \quad (2)$$

где $T_{CO,CH,j}$ – температура каталитического нейтрализатора, когда содержание СО и СН начинает стремиться к нулевыми значениями от первоначальных, измеряемых при холодном запуске двигателя, К;

T_{KHj} – температура каталитического нейтрализатора при j -ой температуре окружающего воздуха, К.

Для полного сгорания 1 кг топлива необходимо определенное количество воздуха l_0 , которое называется теоретически необходимым. Состав рабочей смеси характеризуется коэффициентом избытка воздуха, который определяется как отношение действительного количества воздуха l , участвующего в сгорании 1 кг топлива, к теоретически необходимому количеству воздуха l_0 .

$$\alpha = \frac{l}{l_0}. \quad (3)$$

При низких температурах окружающей атмосферы для обеспечения гарантированного холодного запуска двигателя его электронная система управления формирует в камерах сгорания обогащенный состав рабочей смеси, в котором на каждый кг топлива приходится количество воздуха меньше, чем теоретически необходимое. В таких условиях происходит неполное сгорание топлива с образованием смеси продуктов, состоящих из углекислого газа CO_2 , водяного пара H_2O , свободного водорода H_2 , азота N_2 , а также вредных для здоровья человека оксида углерода СО и несгоревших углеводородов СН.

При измеренных величинах действительного массового расхода воздуха G_v и топлива G_t можно рассчитать действительные количества воздуха l , расходуемого на сгорание 1 кг топлива:

$$l = G_v / G_t \quad (4)$$

При исследовании системы «Условия запуска холодного двигателя – Автомобиль – Экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси» установлен ряд внешних и внутренних факторов, влияющих на термодинамический процесс прогрева каталитического нейтрализатора и определяющий массу СО и СН в выхлопных газах двигателя.

Для уточнения актуальных экологических показателей и определения их достоверных значений в реальных условиях эксплуатации разработан алгоритм методики, включающий в себя проведение теоретических и экспериментальных исследований (рисунок 2). Функционирование каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля осуществляется при температуре окружающего воздуха, соответствующей природно-климатическим условиям исследуемого региона – Сибирский федеральный округ, Омская область. Исследуемый диапазон изменения температуры окружающего воздуха от +1 до -30 °C. Ширина интервала рассчитывается по формуле Стеджерса (5).

$$\Delta J = \frac{J_{max} - J_{min}}{1 + 3,3 \cdot \log n}, \quad (5)$$

где ΔJ – ширина интервала, °C;

n – общее количество наблюдений – бесповторная выборка при доверительной вероятности 0,95, которая определяется с учетом количества зимних месяцев в году Сибирского федерального округа (на примере г. Омска) и дней в каждом месяце.



Рисунок 3 – Схема алгоритма методики уточнения актуальных экологических показателей функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля

В результате исследования природно-климатических условий Сибирского федерального округа (на примере г. Омска) установлены следующие интервалы для определения вероятностных показателей функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля: -30°C до -24°C ; -24°C до -18°C ; -18°C до -12°C ; -12°C до -6°C ; -6 до 0°C . Именно на этих интервалах определяются статистические характеристики и параметры функции закона распределения следующих показателей:

- масса СО и СН в выхлопных газах двигателя;
- расход воздуха;
- расход топлива;
- время, необходимое для того, чтобы содержание СО и СН начинало стремиться к нулевым значениям от первоначальных, измеряемых при холодном запуске двигателя;

– температура, необходимая для того, чтобы содержание СО и СН начинало стремиться к нулевым значениям от первоначальных, измеряемых при холодном запуске двигателя.

Для проведения экспериментальных исследований определяется количество наблюдений с использованием теории больших чисел при доверительной вероятности 0,95. Для проведения эксперимента выбран автомобиль LADA Vesta с двигателем ВАЗ-21129 полностью исправен, укомплектован необходимым инструментом и заправлен бензином в соответствии с ГОСТ Р 54810-2011. Характеристики автомобиля, представленные на рисунке 2, соответствуют LADA Vesta, двигатель ВАЗ-21129 [16].

Характеристики измерительных приборов обеспечивают измерения объемной доли оксида углерода (СО), углеводородов (СН) (в пересчете на гексан), диоксида углерода (СО₂), кислорода (О₂), в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями [16, 17].

Подготовка выпускного каталитического коллектора к испытаниям заключается в размещении термопары для измерения температуры отработавших газов, корпуса каталитического нейтрализатора [16].

Характеристики экспериментального стенда включают наличие основных элементов и общую схему их подключения: электронный блок управления и катколлектор двигателя ВАЗ-21129, мотор-тестер GRADE-X, 4-х компонентный газоанализатор «Инфракар» МЗТ.01, мультиметр СЕМ DT-9908, атмосферный термометр, секундомер [16].

Взаимосвязь экспериментальных и теоретических исследований позволит изучить функционирование системы и получить вероятностные экологические показатели функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля по доверительным интервалам в исследуемой температуре окружающего воздуха.

Выводы

В результате выполненных исследований установлено, что для определения экологических показателей функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля используются лабораторные условия, отличающиеся от реальных условий эксплуатации Сибирского федерального округа (на примере г. Омска). Для установления взаимосвязи между природно-климатическими условиями запуска холодного двигателя легкового автомобиля, характеристиками двигателя легкового автомобиля и результатами работы каталитического нейтрализатора предложена система «Условия запуска холодного двигателя – Автомобиль – Экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси» и определены характеристики этой системы. Разработана математическая модель функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля. Разработанная схема алгоритма методики уточнения актуальных экологических показателей функционирования каталитического нейтрализатора в условиях запуска холодного двигателя легкового автомобиля представляет собой взаимосвязь теоретических и экспериментальных исследований.

Дальнейшие исследования направлены на определение вероятностных характеристик системы «Условия запуска холодного двигателя – Автомобиль – Экологические показатели, достигаемые при выходе из каталитического нейтрализатора теплового потока смеси».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Matthaios V.N., Kramer L.J., Sommariva R., Pope F.D., Bloss J. William Investigation of vehicle cold start primary NO₂ emissions inferred from ambient monitoring data in the UK and their implications for urban air quality // Atmospheric Environment. Vol. 199. 2019. P. 402-414. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.11.031.
2. Husseinac A.M.A., Burraa K.G., Bassionib G., Hammoudac R.M., Gupta A.K. Production of CO from CO₂ over mixed-metal oxides derived from layered-double-hydroxides. Applied Energy. V. 235. 2019. P. 1183-1191. doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.040.
3. Korin E., Reshef R., Tshernichovesky D., Sher E. Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of a catalytic converter embedded in a phase-change material // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D: Journal of Automobile Engineering. 1999. 213(6). 575-583. doi:10.1243/0954407991527116.
4. Аббасов А.Э. Информационная поддержка экспертной оценки токсичности автотранспортных средств // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. 2018. №2(119). С. 31-43. doi: 10.18698/0236-3941-2018-2-31-43.
5. Аймуханов Д.С., Сүлейменов М.А., Рындин В.В. Сравнительный анализ выбросов на стоянках автомобилей, оборудованных каталитическими нейтрализаторами и без них // Наука и техника Казахстана. 2007. №4. С. 11-15.

6. Гусаков С.В., Шарипов А.З., Меньших А.А. Улучшение экологических показателей автомобильного двигателя с искровым зажиганием в период прогрева после холодного пуска // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2011. №3. С. 60-67.
7. Gumus M. Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of thermal energy storage system. Applied Thermal Engineering. 2009. 29(4). 652-660. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.03.044.
8. Печеницына Н.А., Рашевский Р.Б., Ширинкина Е.С. Снижение токсичности выхлопных газов за счет процессов каталитической нейтрализации // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. №4. С. 27-36.
9. Шайкин А.П., Галиев И.Р. Влияние скорости распространения и ширины зоны турбулентного пламени на концентрацию несгоревших углеводородов и полноту сгорания топлива в двигателе с искровым зажиганием // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. 2019. №4(127). С. 111-123. doi: 10.18698/0236-3941-2019-4-111-123.
10. Кадыров А.С., Сарсембеков Б.К., Кукешева А.Б. Планирование эксперимента по очистке выхлопных газов ультразвуком // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». 2021. 18(1). 86-92. doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-86-95.
11. Бояршинов М.Г., Кузнецов Н.И. Особенности изменения температуры системы выпуска автомобиля при пониженных температурах окружающего воздуха // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №2(73). С. 7-16. doi: 10.33979/2073-7432-2021-73-2-7-16.
12. Liu Y., Ge Y., Tan J., Wang H., Ding Y. Research on ammonia emissions characteristics from light-duty gasoline vehicles. Journal of Environmental Sciences. 2021. Vol. 106. P. 182-193. doi.org/10.1016/j.jes.2021.01.021.
13. Гриценко А.В., Глемба К.В., Салимоненко Г.Н. Диагностирование двигателя методом селективного газоанализа отработавших газов // Транспорт Урала. 2022. №2(73). С. 84-91. DOI 10.20291/1815-9400-2022-2-84-91.
14. Гриценко А.В., Салимоненко Г.Н., Шепелев В.Д. [и др.] Экологический контроль и тестовое динамическое управление выходными параметрами двигателя // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2020. Т. 20. №2. С. 5-18. DOI 10.14529/engin200201.
15. Charula P., Nilesh B., Srinivas P. Assessment of Manganese Oxide and Cobalt Oxide Catalysts for Three Way Catalytic Converter // Kataliz v promyshlennosti. Vol. 20, No. 4. 2020. P. 286-302. doi 10.18412/1816-0387-2020-4-286-302.
16. Zaloznov A., Pevnev N., Trofimova L. Dependences of the warm-up time changes of catalytic converters in the open storage car conditions. MATEC Web of Conferences. 2021. №341. 00051. 2021. doi.org/10.1051/mateconf/202134100051.
17. Zaloznov A., Pevnev N., Trofimova L., Borodulina S. Improving the tests of catalytic converters accounting for the relationship between the composition of the working mixture entering the engine combustion chamber and CO and CH in exhaust gases // Journal of Physics: Conference Series, Novorossiysk, Virtual. Novorossiysk, Virtual. P. 012062. doi: 10.1088/1742-6596/2061/1/012062.

Трофимова Людмила Семеновна

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

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

Д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Организация перевозок и безопасность движения»

E-mail: trofimova_ls@mail.ru

Залознов Алексей Васильевич

ООО «Комплекс на Комарова»

Адрес: 644112, Россия, г. Омск, ул. Туполева, 10

Управляющий

E-mail: 141zet@gmail.com

Трофимов Борис Сергеевич

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

Адрес: 644080, Российская Федерация, г. Омск, пр-т Мира, 5

К.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт»

E-mail: trofim_bs@mail.ru

L.S. TROFIKOVA, A.V. ZALOZNOV, B.S. TROFIKOVI

METHOD FOR CLARIFICATION OF CURRENT ENVIRONMENTAL INDICATORS OF THE FUNCTIONING OF A CATALYTIC CONVERTER UNDER CONDITIONS OF STARTING A COLD CAR ENGINE

Abstract. The article focuses on ensuring the environmental safety of road transport through the study of the system «Conditions for starting a cold engine - Vehicle - Environmental indicators achieved when the heat flow of the mixture exits the catalytic converter». A mathematical model of the functioning of a catalytic converter under conditions of starting a cold car engine has been developed. The developed scheme of the algorithm for clarifying the current environmental indicators of the functioning of the catalytic converter under conditions of starting a cold passenger car engine represents the relationship of theoretical and experimental studies to determine the probabilistic pa-

rameters of the system.

Keywords: natural and climatic conditions, starting a cold engine, environmental indicators, catalytic converter, heat flow of the mixture, mathematical model

BIBLIOGRAPHY

1. Matthaïos V.N., Kramer L.J., Sommariva R., Pope F.D., Bloss J. William Investigation of vehicle cold start primary NO₂ emissions inferred from ambient monitoring data in the UK and their implications for urban air quality // *Atmospheric Environment*. Vol. 199. 2019. P. 402-414. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.11.031.
2. Hussein A.M.A., Burra K.G., Bassionib G., Hammoudac R.M., Gupta A.K. Production of CO from CO₂ over mixed-metal oxides derived from layered-double-hydroxides. *Applied Energy*. V. 235. 2019. P. 1183-1191. doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.040.
3. Korin E., Reshef R., Tshernichovsky D., Sher E. Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of a catalytic converter embedded in a phase-change material // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D: Journal of Automobile Engineering*. 1999. 213(6). 575-583. doi:10.1243/0954407991527116.
4. Abbasov A.E. Informatsionnaya podderzhka ekspertnoy otsenki toksichnosti avtotransportnykh sredstv // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. Seriya Mashinostroyeniye*. 2018. №2(119). S. 31-43. doi: 10.18698/0236-3941-2018-2-31-43.
5. Aymukhanov D.S., Suleymenov M.A., Ryndin V.V. Sravnitel'nyy analiz vybrosov na stoyankakh avtomobiley, oborudovannykh kataliticheskimi neytralizatorami i bez nikh // *Nauka i tekhnika Kazakhstana*. 2007. №4. S. 11-15.
6. Gusakov S.V., Sharipov A.Z., Men'shikh A.A. Uluchsheniye ekologicheskikh pokazateley avtomobil'nogo dvigatelya s iskrovym zazhiganiem v period progreva posle kholodnogo puska // *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*. 2011. №3. S. 60-67.
7. Gumus M. Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of thermal energy storage system. *Applied Thermal Engineering*. 2009. 29(4). 652-660. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.03.044.
8. Pechenitsyna N.A., Rashevskiy R.B., Shirinkina E.S. Snizheniye toksichnosti vykhlopnykh gazov za schet protsessov kataliticheskoy neytralizatsii // *Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*. 2014. №4. S. 27-36.
9. Shaykin A.P., Galiev I.R. Vliyaniye skorosti rasprostraneniya i shiriny zony turbulentnogo plameni na kontsentratsiyu nesgorevshikh uglevodorodov i polnotu sgoraniya topliva v dvigatele s iskrovym zazhiganiem // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. Seriya Mashinostroyeniye*. 2019. №4(127). S. 111-123. doi: 10.18698/0236-3941-2019-4-111-123.
10. Kadyrov A.S., Sarsembekov B.K., Kukesheva A.B. Planirovaniye eksperimenta po ochistke vykhlopnykh gazov ul'trazvukom // *Nauchnyy retsenziruemyy zhurnal «Vestnik SibADI»*. 2021. 18(1). 86-92. doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-86-95.
11. Boyarshinov M.G., Kuznetsov N.I. Osobennosti izmeneniya temperatury sistemy vypuska avtomobilya pri ponizhennykh temperaturakh okruzhayushchego vozdukh // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2021. №2(73). S. 7-16. doi: 10.33979/2073-7432-2021-73-2-7-16.
12. Liu Y., Ge Y., Tan J., Wang H., Ding Y. Research on ammonia emissions characteristics from lightduty gasoline vehicles. *Journal of Environmental Sciences*. 2021. Vol. 106. P. 182-193. doi.org/10.1016/j.jes.2021.01.021.
13. Gritsenko A.V., Glemba K.V., Salimonenko G.N. Diagnostirovaniye dvigatelya metodom selektivnogo gazoanaliza otrabotavshikh gazov // *Transport Urala*. 2022. №2(73). S. 84-91. DOI 10.20291/1815-9400-2022-2-84-91.
14. Gritsenko A.V., Salimonenko G.N., Shepelev V.D. [i dr.] *Ekologicheskii kontrol' i testovoe dinamicheskoe upravleniye vykhodnymi parametrami dvigatelya* // *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroyeniye*. 2020. T. 20. №2. S. 5-18. DOI 10.14529/engin200201.
15. Charula P., Nilesh B., Srinivas P. Assessment of Manganese Oxide and Cobalt Oxide Catalysts for Three Way Catalytic Converter // *Kataliz v promyshlennosti*. Vol. 20, No. 4. 2020. P. 286-302. doi 10.18412/1816-0387-2020-4-286-302.
16. Zaloznov A., Pevnev N., Trofimova L. Dependences of the warm-up time changes of catalytic converters in the open storage car conditions. *MATEC Web of Conferences*. 2021. №341. 00051. 2021. doi.org/10.1051/mateconf/202134100051.
17. Zaloznov A., Pevnev N., Trofimova L., Borodulina S. Improving the tests of catalytic converters accounting for the relationship between the composition of the working mixture entering the engine combustion chamber and CO and CH in exhaust gases // *Journal of Physics: Conference Series, Novorossiysk, Virtual. Novorossiysk, Virtual*. P. 012062. doi: 10.1088/1742-6596/2061/1/012062.

Trofimova Liudmila Semenovna

Siberian State Automobile and Highway University
Adress: 644080, Omsk, Russia, Mira Ave., 5
Doctor of technical sciences
E-mail: trofimova_ls@mail.ru

Trofimov Boris Sergeevich

Siberian State Automobile and Highway University
Adress: 644080, Omsk, Russia, Mira Ave., 5
Candidate of technical sciences
E-mail: trofim_bs@mail.ru

Zaloznov Alexey Vasilyevich

«Kompleks na Komarova» LLC
Adress: 644112, Omsk, Russia, Tupoleva str., 10
Manager
E-mail: 141zet@gmail.com

Научная статья

УДК 656.11

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-68-73

А.В. ЗЕДГЕНИЗОВ

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕМЛЕИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы нормативного обеспечения градостроительной деятельности в части влияния центров массового тяготения на формирования транспортного спроса и загрузки уличной дорожной сети урбанизированных территорий. Приведен краткий исторический очерк рассматриваемого вопроса. В частности, приводятся нормативные значения по генерирующей способности локальных центров массового тяготения с вариационным размахом. Указаны усреднённые диапазоны доли поездок, совершаемых с использованием индивидуального транспорта в разрезе разных видов землеиспользования. Предложены направления применения, предлагаемого нормативного обеспечения.

Ключевые слова: генерация корреспонденций, транспортный спрос, доля поездок с использованием индивидуального транспорта

Введение

В настоящее время в Миров и в России в частности, большая часть населения проживает в городах, удовлетворение спроса на поездки в которых становится сложнее удовлетворять. Ключевым инструментарием оценки транспортного спроса, расчёта матриц межрайонных корреспонденций и калибровки имитационных транспортных моделей вот уже несколько десятилетий являются специализированные программные продукты, позволяющие строить прогнозные сценарии формирования транспортной ситуации в целом и транспортного спроса в частности. Однако, имитационное моделирование процесс весьма непростой, ключевая основа которого базируется на применении обобщённых алгоритмов и зависимостей, отражающих логику социального поведения людей. Именно поэтому, правомерность применения специальных пакетов прикладных программ на основе которых моделируются транспортные сценарии, прогнозируются интенсивности транспортных потоков, проектируется транспортная инфраструктура и режимы организации дорожных движения самых разнообразных элементов улично-дорожной сети, должна определяться национальными руководствами и справочниками. Особое значение в данном контексте принимает вопрос о выявлении закономерностей, лежащих в основе мобильности, транспортной подвижности и генерации корреспонденций. Кроме решения транспортных задач, данные о генерации корреспонденций являются весьма востребованными в градостроительной деятельности, направленной на выработку нормативов формирования ёмкостей социальных учреждений, например, детских садов, поликлиник и т.п., в коммерческом секторе, для выявления числа посетителей, влияющих на рентабельность, например, оптово-розничной торговли. Таким образом, выявление закономерностей, отражающих логику социального поведения России и лежащих в основе генерации корреспонденций (транспортного спроса) является важной научной и практической задачей.

Материал и методы

Важно отметить, что мировой опыт подчёркивает необходимость наличия такой справочно-нормативной документации, например, в США с завидной регулярностью выходит уже одиннадцатое издание национального справочника Trip Generation manual 2021 год [16-18]. Имеются такие же издания и Дубае, Германии и др. странах. Кроме, совершенно очевидной и крайне необходимой информации о генерации корреспонденций, представленной в доступной форме в виде аналитического уравнения аппроксимирующей кривой облака опытных точек,

важно применять и другие справочные данные и нормы, например, коэффициенты суточной неравномерности, показывающие загрузку территории по часам суток, потребность в парковании и другие параметры, лежащие в основе функционирования урбанизированной территории. К сожалению, в России сегодня часть такой информации представлена разрозненно в нормативных документах СП 2017 и [15], прежде всего о нормах на паркирование, а официально признанных нормативов о генерации корреспонденций всё ещё не существует.

Предлагаемые методики и справочные данные по генерации корреспонденций и паркирования в контексте статьи и логики социального поведения населения России были впервые предложены в целом перечне научных статей [7-9], начиная с 2010 года, позднее на их основе была подготовлена и защищена магистерская диссертация Корчевой Д.С. (2017 г.) [11], и кандидатская диссертация Бурковым Д.Г. (2020 г.) [4], которые затрагивали только частные случаи логики формирования транспортного спроса. Позднее автору удалось обобщить накопленный опыт за более чем 15 летний период исследований и подготовить на первом этапе монографию [10], охватывающую значительную часть логики формирования транспортного спроса для более чем 30 разных типов урбанизированных территорий и позднее в 2021 году защитить докторскую диссертацию. Сегодня тематику генерации корреспонденций и её влияния на прилегающую УДС и другие аспекты развития и жизнедеятельности урбанизированных территорий продолжает Брянских Т.Б. Серьёзный вклад в изучение транспортного спроса и его нормативного обеспечения внесли А.И. Солодкий, Зырянов В.В. и др. [2, 3, 5, 12-14] Важно отметить, что сегодня в России наблюдается чрезвычайный рост экономики и как следствие урбанизированных территорий, что, несомненно, требует создания национально ориентированных нормативной документации.

Теория / Расчет

Основными характеристиками, отражающими процесс функционирования урбанизированных территорий, основанных на логике социального поведения, являются:

- удельная генерация корреспонденций, параметр отражающий количество корреспонденций, тяготеющих к урбанизированной территории определённого вида за рассматриваемый период, как правило, сутки;
- доля посетителей, использующих индивидуальный транспорт (кроме СИМ), параметр;
- средняя продолжительность паркирования, параметр часто характеризующий продолжительность обслуживания и производительность одного машино-места, мин.;
- среднее наполнение индивидуального транспорта, параметр характеризующий эффективность использования индивидуального транспорта;
- коэффициент суточной неравномерности, параметр, связывающий суточное значение предлагаемых выше характеристик с часовым.

Имеются и другие параметры, дополняющие и уточняющие математические подходы к оценке генерации корреспонденций, процессу обеспечения парковочным пространством, а также организации движения в зонах запрашивающих локальные центры массового тяготения в плане урбанизированных территорий. В контексте перечисленных параметров важно предложить нормативы и зависимости, не только позволяющие вести учёт отдельных тенденций тяготения или объёмов паркирования, но и иметь возможность прогнозировать интенсивность транспортных потоков для ОДД. В таблице 1 приведён перечень нормативных значений удельной генерации корреспонденций.

Таблица 1 - Удельная генерация корреспонденций чел./м²/сут.

Код территории	Наименование типа территории	Мин	Макс	Среднее значение
1	2	3	4	5
1	Жилье	0,00004	0,2033	0,0346
12	Среднеэтажная застройка	0,0173	0,2033	0,0522
14	Жилье с участком земли	0,0009	0,0123	0,004

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
16	СНТ (Садоводческие некоммерческие товарищества)	0,00004	0,0018	0,0007
2	Торговля, общепит, сфера услуг	0,01523	10,0600	1,6251
21	Торгово-развлекательные центры, универмаги	0,3985	6,2500	2,3911
22	Продовольственные товары	0,3985	6,2500	2,3911
23	Мебель	0,0861	0,1600	0,1230
24	Одежда	-	-	0,5500
26	Строительные товары	0,1328	1,2646	0,5670
211	Аптеки	0,7500	6,2833	3,1445
213	Салон цветов	-	-	0,8800
217	Алкомаркет	1,2285	2,1000	1,5758
220	Рестораны, кафе, бары	0,0352	1	0,5250
222	АЗС	-	-	0,3329
223	Автомойка	-	-	0,1140
224	Станция технического обслуживания автомобилей	0,0362	0,4475	0,2442
227	Парикмахерская, салон красоты	-	-	1,0200
229	Ритуальные службы	-	-	0,5125
231	Религиозные учреждения (церкви, приходы, монастыри)	-	-	0,0170
3	Образование, здравоохранение, спорт, культура, досуг	0,0124	1,8200	0,245804
31	Детские сады, ясли	-	-	0,1239
32	Средние школы	-	-	0,1748
35	Учебные заведения ВПО (институты, академии, университеты)	-	-	0,2131
37	Школы раннего развития детей	-	-	1,0150
38	Больницы, госпитали			0,0367
39	Поликлиники	0,3302	0,7976	0,4639
315	Кинотеатры	-	-	0,2122
319	Физкультурно-оздоровительные центры (ФОК)	0,03	0,1941	0,1200
322	Бани/сауны	-	-	0,0170
328	Туристические базы (кемпинги)	-	-	0,0124
4	Офисы	0,1062	4,1800	1,4451
44	Нотариусы	-	-	1,3166
47	Проектные организации (институты, лаборатории)	-	-	0,1155
416	Почта, телеграф, АТС	0,47	1,6000	1,2400
5	Промышленность	0,0018	0,1571	0,0349
51	Комбинаты	-	-	0,0082
52	Завод	0,0018	0,0040	0,0031
6	Коммунально-складское хозяйство	0,0047	0,0340	0,0115
61	Автотранспортные предприятия	0,0055	0,0083	0,0069
64	Логистический центр	0,0166	0,0340	0,0253
66	Гаражный кооператив	0,0047	0,0112	0,0070

Следует отметить, что традиционно торговля, общепит, сфера услуг, а также деловая

и коммерческая деятельность являются наиболее деятельными центрами массового тяготения (ЦМТ). Совершенно очевидно, что представленные нормативные значения не покрывают всех типов массового тяготения и работа в направлении расширения перечня таких центров массового тяготения (ЦМТ) должна быть продолжена. Следует также вести и углублённые исследования каждого типа УМТ, прежде всего, для снижения вариационного размаха (доверительного интервала) удельной генерации корреспонденций.

Результаты и обсуждение

Как уже отмечалось выше, в контексте процесса паркирования в России с нормативным обеспечением дела обстоят значительно лучше, имеется целый перечень действующей нормативно справочной литературы [15], однако, в современных условиях этого может оказаться не достаточно, прежде всего, по причине того, что наш способ жизнедеятельности, а именно, в городской среде не может всех на 100% обеспечить индивидуальным транспортом, отсюда возникает потребность в выработке критериев культуры пользования транспортом или, если сказать грубее культуре потребления транспорта как жизненно важного ресурса урбанизированных территорий (города). Современный лозунг пользователей ИТ основывается на том, что каждая поездка должна быть обеспечена парковочным местом, отсюда, учитывая, что спрос на поездки с использованием ИТ может меняться в значительной степени, следует учитывать не только среднестатистическую потребность, которая сегодня и отражается в нормативной литературе, но и долю поездок на ИТ и изменяющуюся продолжительность паркирования в зависимости от вида ЦМТ и других параметров, например, его площади или удалённости от центра города.

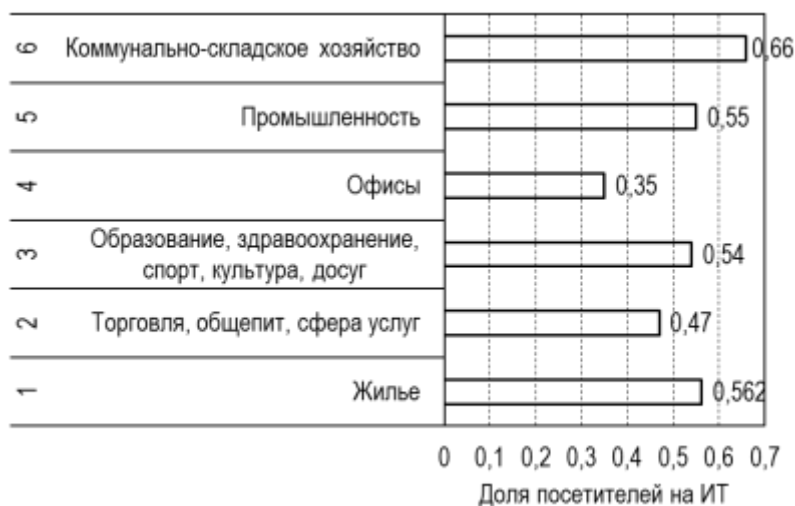


Рисунок 1 – Доля посетителей ЦМТ на ИТ: 1 – жилье; 2 – торговля, общепит, сфера услуг в будний день; 3 – торговля, общепит, сфера услуг в выходной день; 4 – образование, здравоохранение, спорт, культура, досуг; 5 – офисы; 6 – усредненные значения

Вывод

Таким образом, при прогнозировании транспортных потоков в плане урбанизированных территорий у инженеров проектировщиков имеется инструментарий, позволяющий учитывать логику социального поведения присущую именно в Российском обществе, прежде всего, нормативы на число корреспонденций, присущих разным ЦМТ, естественно в удельных показателях и доли таких поездок, совершаемых на ИТ. Эти исходные данные позволят повысить точность прогнозов формирования транспортных потоков с использованием имитационного моделирования, а также оценить степень влияния локальных ЦМТ на прилегающую УДС. Безусловно, усилия по разработке и апробации нормативных значений должны быть продолжены в контексте разных центров массового тяготения и разных городов в действующей классификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахромешин А.В., Пышный В.А. Классификация центров массового тяготения с позиции транспортного моделирования / Отв. редактор П.В. Евтин. // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции. Тюмень. 2023. С. 281-284.
2. Булатова О.Ю., Зырянов В.В. Задачи организации дорожного движения при возникновении инцидентов во время проведения городских массовых мероприятий // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(83). С. 67-73.
3. Булатова О.Ю., Зырянов В.В. Организация безопасного движения пешеходных потоков при проведении городских массовых мероприятий // Транспорт: наука, техника, управление: Научный информационный сборник. 2024. №2. С. 57-63.
4. Бурков Д.Г. Совершенствование организации движения при обслуживании центров культурно-бытового назначения с учетом прогнозирования транспортного спроса: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. СПб., 2018. 175 с.
5. Захаров Д.А. Пространственная неравномерность распределения по районам города Тюмени транспортного спроса на передвижение индивидуальным и общественным транспортом // Вестник гражданских инженеров. 2023. №3(98). С. 114-122.
6. Зедгенизов А.В. Организация дорожного движения на основе оценки транспортного спроса к центрам массового тяготения по параметрам их расположения на урбанизированных территориях // Транспортное планирование и моделирование: сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ. 2019. 68-3 с.
7. Зедгенизов А.В., Бурков Д.Г., Корчева Д.В. Оценка транспортного спроса к объектам культурно-бытового назначения на примере развлекательного центра «Звездный» г. Иркутск // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. №11(82). С. 201-205.
8. Зедгенизов А.В., Зедгенизова А.Н. Методика оценки генерации корреспонденций к физкультурно-оздоровительным центрам // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сб. докл. X Междунар. конф. СПб.: СПбГАСУ. 2012. С. 220-227.
9. Зедгенизов А.В., Зедгенизова А.Н. Оценка генерации поездок торгово-деловым центром, включающим различные объекты тяготения // Вестник СИБАДИ. 2012. №2(24). С. 18-23.
10. Зедгенизов А.В. Оценка качества организации дорожного движения на основе транспортного спроса: монография. Иркутск: ИРНТУ, 2019. 196 с.
11. Корчева Д.В. Границы рационального использования между общественным и индивидуальным транспортом: дис. ... магистранта. Иркутск, 2017.
12. Лосин Л.А., Булычева Н.В. Сравнительный анализ транспортного спроса и предложения в моделях транспортных систем городских агломераций // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2023. Т. 20. №4. С. 943-953.
13. Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города. Белгород-Орел, 2023.
14. Присяжнюк М.С., Подопрюга Н.В., Терентьев А.В. Выбор эффективных инструментов организации пассажирских перевозок в Ленинградской области // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(83). С. 60-66.
15. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89. М.: Минстрой России, 2016. 94 с.
16. Trip Generation Handbook, 2nd Edition: An ITE Recommended Practice. Washington, DC: ITE. 2004.
17. Trip Generation, 11th Edition. Washington, DC: Institute of Transportation Engineers (ITE). 2021.
18. Trip Generation, 8th Edition. Washington, DC: Institute of Transportation Engineers (ITE). 2008.

Зедгенизов Антон Викторович

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Адрес: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Д.т.н., профессор кафедры нефтегазового дела

E-mail: azedgen@gmail.com

A.V. ZEDGENIZOV

REGULATORY SUPPORT FOR ASSESSING TRANSPORTATION DEMAND BASED ON LAND USE CHARACTERISTICS

Abstract. The article discusses the issues of regulatory support for urban planning activities in terms of the influence of centers of mass gravity on the formation of transport demand and load on

the street road network of urbanized territories. A brief historical outline of the issue under consideration is given. In particular, standard values for the generating ability of local centers of mass gravity with a variational range are given. The average ranges for the share of trips made using individual transport are indicated in the context of different types of land use. Directions for application and proposed regulatory support are proposed.

Keywords: generation of correspondence, transport demand, share of trips using individual transport

BIBLIOGRAPHY

1. Akhromeshin A.V., Pyshnyy V.A. Klassifikatsiya tsentrov massovogo tyagoteniya s pozitsii transportnogo modelirovaniya / Otv. redaktor P.V. Evtin. // Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Tyumen'. 2023. S. 281-284.
2. Bulatova O.Yu., Zyryanov V.V. Zadachi organizatsii dorozhnogo dvizheniya pri vozniknovenii intsidentov vo vremya provedeniya gorodskikh massovykh meropriyatiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-1(83). S. 67-73.
3. Bulatova O.Yu., Zyryanov V.V. Organizatsiya bezopasnogo dvizheniya peshekhodnykh potokov pri provedenii gorodskikh massovykh meropriyatiy // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie: Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2024. №2. S. 57-63.
4. Burkov D.G. Sovershenstvovanie organizatsii dvizheniya pri obsluzhivanii tsentrov kul'turno-bytovogo naznacheniya s uchetom prognozirovaniya transportnogo sprosа: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10. SPb., 2018. 175 s.
5. Zakharov D.A. Prostranstvennaya neravnomernost' raspredeleniya po rayonam goroda Tyumeni transportnogo sprosа na peredvizhenie individual'nym i obshchestvennym transportom // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2023. №3(98). S. 114-122.
6. Zedgenizov A.V. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya na osnove otsenki transportnogo sprosа k tsentram massovogo tyagoteniya po parametram ikh raspolozheniya na urbanizirovannykh territoriyakh // Transportnoe planirovanie i modelirovanie: sb. tr. IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: SPbGASU. 2019. 68-3 s.
7. Zedgenizov A.V., Burkov D.G., Korcheva D.V. Otsenka transportnogo sprosа k ob'ektam kul'turno-bytovogo naznacheniya na primere razvlekatel'nogo tsentra «Zvednyy» g. Irkutsk // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2013. №11(82). S. 201-205.
8. Zedgenizov A.V., Zedgenizova A.N. Metodika otsenki generatsii korrespondentsiy k fizkul'turno-ozdorovitel'nym tsentram // Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh: sb. dokl. H Mezhdunar. konf. SPb.: SPbGASU. 2012. S. 220-227.
9. Zedgenizov A.V., Zedgenizova A.N. Otsenka generatsii poezdok tovgovo-delovym tsentrom, vkluchayushchim razlichnye ob'ekty tyagoteniya // Vestnik SIBADI. 2012. №2(24). S. 18-23.
10. Zedgenizov A.V. Otsenka kachestva organizatsii dorozhnogo dvizheniya na osnove transportnogo sprosа: monografiya. Irkutsk: IRNITU, 2019. 196 s.
11. Korcheva D.V. Granitsy ratsional'nogo ispol'zovaniya mezhdu obshchestvennym i individual'nym transportom: dis. ... magistranta. Irkutsk, 2017.
12. Losin L.A., Bulycheva N.V. Cravnitel'nyy analiz transportnogo sprosа i predlozheniya v modelyakh transportnykh sistem gorodskikh aglomeratsiy // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya. 2023. T. 20. №4. S. 943-953.
13. Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G. Puti povysheniya bezopasnosti funktsionirovaniya obshchestvennogo transporta v usloviyakh perspektivnogo razvitiya goroda. Belgorod-Orel, 2023.
14. Prisyazhnyuk M.S., Podoprigora N.V., Terent'ev A.V. Dybor effektivnykh instrumentov organizatsii passazhirskikh perevozok v Leningradskoy oblasti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-1(83). S. 60-66.
15. SP 42.13330.2016. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorod-skikh i sel'skikh poseleniy aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.07.01-89. M.: Minstroy Rossii, 2016. 94 s.
16. Trip Generation Handbook, 2nd Edition: An ITE Recommended Practice. Washington, DC: ITE. 2004.
17. Trip Generation, 11th Edition. Washington, DC: Institute of Transportation Engineers (ITE). 2021.
18. Trip Generation, 8th Edition. Washington, DC: Institute of Transportation Engineers (ITE). 2008.

Zedgenizov Anton Viktorovich

Irkutsk National Research Technical University

Address: 664074, Russia, Irkutsk, Lermontova str., 83

Doctor of technical sciences

E-mail: azedgen@gmail.com

Научная статья

УДК 629.373.3

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-74-81

У. ВАХИДОВ, С. МАНЯНИН, Ю. МОЛЕВ, М. ЧЕРЕВАСТОВ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ МАШИН НА ШИНАХ СВЕРХНИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ДОРОГАМ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Аннотация: Представлены результаты анализа изменения управляемости транспортных средств, при движении на шинах сверхнизкого давления по дорогам общего пользования. Доказано наличие существенного влияния на реакцию колесной машины частоты управляющего воздействия. Предложен такой показатель изменения управляемости как запаздывание угловой скорости поворота колесной машины от управляющего воздействия. Получены результаты математического моделирования влияния параметров колёс сверхнизкого давления на курсовую управляемость вездеходных машин. Приведённые данные позволили выделить наиболее безопасные параметры жёсткости шин (а значит и величину давления воздуха) автомобиля, влияющие на его активную безопасность, а также определить пределы их допустимого изменения. Установлено, что во всём диапазоне изменения параметров шин сверхнизкого давления скорость движения вездеходных машин по дорогам общего пользования не должна превышать величины 50 км/ч.

Ключевые слова: безопасность движения, управляемость, динамическая чувствительность к управлению, длительность переходного процесса, центр масс, транспортно-технологические машины сельскохозяйственного назначения, колеса сверхнизкого давления

Введение

Рост сети автомобильных дорог приводит к тому, что вездеходная техника на шинах сверхнизкого давления вынуждена часть пути от места дислокации до места для выполнения работ двигаться по дорогам общего пользования. Поэтому, с точки зрения безопасности дорожного движения, существующая вездеходная колёсная техника на шинах сверхнизкого давления должна соответствовать требованиям технического регламента в сфере обеспечения безопасности колесных транспортных средств. При этом, если требования к эффективности торможения автомобилей чётко прописаны, то вопросы допустимости изменения параметров управляемости транспортных средств остаются открытыми.

Таким образом, научные исследования, связанные с обеспечением управляемости вездеходных колёсных машин при движении по дорогам общего пользования является актуальной научной задачей, особенно в свете того, что навесное оборудование, устанавливаемое на них, вследствие большей габаритной ширины и массы обладает большим моментом инерции, что затрудняет быстрое изменение траектории движения, в том числе при возникновении опасности для движения.

Материал и методы

Безопасностью специальной техники, оснащённой движителями, способными двигаться вне дорог по сравнению с обычным транспортом посвящено не такое большое количество работ. При этом, их основное количество приходится на развитые страны с низкой плотностью автомобильных дорог к которым относятся Канада [1], США (Центральные штаты) [2], Россия [3]. Отмечается, что в настоящее время анализ причин возникновения ДТП с данной техникой проводится довольно поверхностно, связь между дорожной полицией и производителями спецтехники на предмет повышения безопасности её эксплуатации на дорогах общего пользования практически отсутствует [4].

При этом исследователи транспортной аварийности утверждают, что до 30 % ДТП происходит с транспортными средствами, находящимися в криволинейном движении с незаторможенными колёсами [5]. Управляемости же вездеходной техники вообще и на шинах сверхнизкого давления в частности, в силу специфики её применения (движение по автомобильным дорогам не является для неё основной технологической операцией) посвящено ограниченное количество работ. При этом в последнее время появились исследования связанные с управляемостью специальной техники в виде роботов, беспилотных автомобилей, в том числе обеспечивающими маневрирование методами бортового поворота [6]. В исследовании [7] приведены результаты статистического исследования, связанного с движением транспортных и технологических средств именно по сельским дорогам, где вероятность попадания в ДТП именно вездеходной техники особенно велика. Авторами установлено, что более 30 % ДТП связано именно с недостаточной эффективностью рулевого управления [7]. В работах [8] и [9] было доказано, что всё вышесказанное справедливо и для внедорожной техники, ДТП с которой на дорогах происходит чаще, чем вне дорог [10].

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в настоящее время достаточно полно изучена и широко применяется теория математической статистики для определения степени влияния того или иного параметра транспортных и технологических средств на безопасность дорожного движения. При этом установлено, что одним из основополагающих факторов, влияющих на аварийность, в том числе и колесных вездеходных машин, является эффективность рулевого управления. При этом следует учитывать, что внедорожные шины (даже в условиях создания более высокого давления при движении по дорогам общего пользования), обладают повышенным износом, приводящему к неравномерности взаимодействия колес с дорогой [11], а обеспечение значительного клиренса приводит к увеличению высоты центра масс машины. При этом вопросам возникновения потери управляемости транспортных и технологических машин в специфических условиях эксплуатации шин сверхнизкого давления на дорогах с твёрдым покрытием, не уделяется должного внимания. Данная работа является продолжением статьи [12], в которой приведены расчёты, согласно которых эффективность торможения специальной техники на шинах низкого давления повышается при смещении центра тяжести назад. Однако такое смещение приводит к уменьшению нагрузки на передние колёса, что существенно ухудшает управляемость транспортного средства. Таким образом, были получены результаты о том, что для обеспечения безопасности движения вездеходной техники на шинах низкого давления по дорогам общего пользования необходимо, после определения необходимой величины смещения центра масс машины назад, обеспечить необходимую управляемость транспортного средства, что может быть обеспечено снижением допускаемой скорости движения.

Расчёт

На представленном этапе исследования, по аналогии, как в работе [13], были получены зависимости, определяющее движение трёхосной специальной техники сельскохозяйственного назначения, при условии постоянства скорости V_a в направлении продольной оси AB (рис. 1).

Уравнения движения трёхосного колёсного транспортно-технологического средства примут вид [14]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dV_z}{dt} - V_a \omega + \frac{1}{M} \left[\left(\frac{V_z \pm b_1 \omega}{V_a} \right) k_{B_1} + \left(\frac{V_z + b \omega}{V_a} \right) k_B + \left(\theta + \frac{V_z - a \omega}{V_a} \right) k_A \right] &= 0 \\ \frac{d\omega}{dt} + \frac{1}{J} \left[\left(\frac{V_z \pm b_1 \omega}{V_a} \right) k_{B_1} b_1 + \left(\frac{V_z + b \omega}{V_a} \right) k_B b - \left(\theta + \frac{V_z - a \omega}{V_a} \right) k_A a \right] &= 0 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где M – масса исследуемой техники;

k_A, k_{B_1}, k_B – коэффициенты сопротивления шин боковому уводу, передней, средней и задней осей;

$a = AC$ (рис. 1); $b = BC$ (рис. 1); $b_1 = B_1C$ (рис. 1)

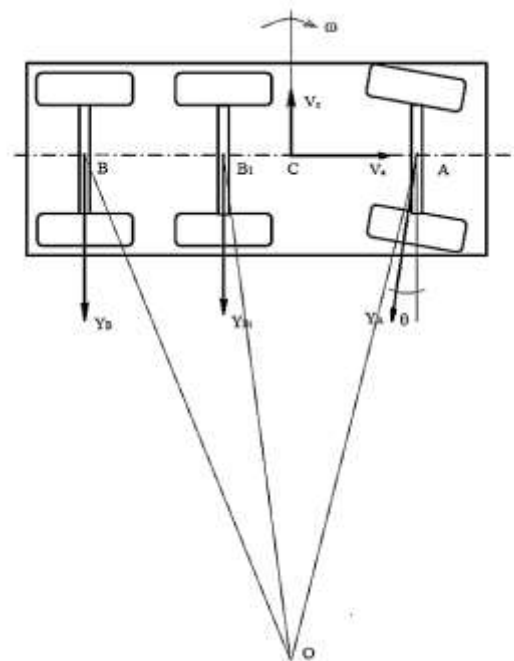


Рисунок 1 - Силы, действующие на транспортно-технологическую машину сельскохозяйственного назначения при повороте: V_A – продольная скорость движения автомобиля;

V_Z поперечная скорость движения автомобиля; ω – угловая скорость поворота автомобиля;

Y_A , Y_B и Y_{B1} – силы, действующие на оси специального средства и θ – угол поворота управляемых колёс

После раскрытия скобок и соответствующих преобразований получим:

$$\begin{cases} \frac{dV_z}{dt} - \left(V_a \mp \frac{k_{B_1} b_1}{MV_a} - \frac{k_B b}{MV_a} + \frac{k_A a}{MV_a} \right) \omega + \left(\frac{k_{B_1}}{MV_a} + \frac{k_B}{MV_a} + \frac{k_A}{MV_a} \right) V_z + \frac{k_A \theta}{M} = 0 \\ \frac{d\omega}{dt} + \left(\pm \frac{k_{B_1} b_1^2}{JV_a} + \frac{k_B b^2}{JV_a} + \frac{k_A a^2}{JV_a} \right) \omega + \left(\frac{k_{B_1} b_1}{JV_a} + \frac{k_B b}{JV_a} - \frac{k_A a}{JV_a} \right) V_z - \frac{k_A a}{J} \theta = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Далее запишем постоянные коэффициенты уравнений следующим образом:

$$\begin{aligned} A &= \frac{k_A a^2 + k_B b^2 \pm k_{B_1} b_1^2}{JV_a}; & C &= V_a + \frac{k_A a - (\pm k_{B_1} b_1 + k_B b)}{MV_A}; \\ B &= \frac{k_A a - (k_{B_1} b_1 + k_B b)}{JV_a}; & D &= \frac{k_A + k_{B_1} + k_B}{MV_a}; \\ m &= \frac{k_A a}{J}; & n &= \frac{k_A}{M}. \end{aligned}$$

Знак « \pm » в коэффициентах A и C для исследуемого случая расположения центра тяжести принимается « $+$ ».

Система уравнений (2) приводится к одному дифференциальному уравнению второго порядка, которое имеет следующий вид:

$$\frac{d^2 \omega}{dt^2} + (A - D) \frac{d\omega}{dt} + (AD - BC) \omega = (mD - nB) \theta + m \frac{d\theta}{dt}. \quad (3)$$

Решение уравнения (3) не представляет особых сложностей при заданном законе изменения угла поворота управляемых колёс от времени. Расчёты траектории движения проведены для случая полной массы транспортно-технологического средства (что соответствует наиболее распространённым условиям эксплуатации). Интервал варьирования коэффициента

сопротивления боковому уводу шин сверхнизкого давления от 25 до 190 кН/рад. Критериями оценки для определения максимально допустимой скорости движения стали приведённый угол поворота управляемых колес и время 90%-ой реакции.

Результаты

Как показывают выполненные расчёты, амплитудно-частотная характеристика монотонно убывает при увеличении угловой частоты управляющего воздействия и монотонно возрастает при увеличении боковой жёсткости колёс. Анализ протекания кривых показывает, что при различных частотах управления наблюдается как усиление ($A(\omega_{yg}) > 1$), так и ослабление выходного сигнала ($A(\omega_{yg}) < 1$). При большей сопротивляемости боковому уводу шин затухание наступает позже. Так при жёсткости шин равной 180 кН/рад затухание наступает при $\omega_{yg} \approx 22 \text{ с}^{-1}$, а при жёсткости в 30 кН/рад при $\omega_{yg} \approx 3 \text{ с}^{-1}$. При этом, фазовый сдвиг между угловой скоростью поворота и углом поворота управляемых колёс, во всём диапазоне изменений частоты управляющего воздействия, за исключением нулевой частоты, и коэффициента сопротивления боковому уводу шины, имеет отрицательные значения. Таким образом, наблюдается запаздывание выходного сигнала (угловая скорость поворота) относительно входного (угол поворота управляемых колёс). Максимальный фазовый сдвиг соответствует случаю, когда сопротивляемость шин боковому уводу составляет и 30 кН/рад частота управления 30 с^{-1} , и равен значению близкому к $0,5\pi$.

В целом, фазочастотная характеристика монотонно возрастает при увеличении боковой жёсткости колёс (уменьшается фазовый сдвиг) и монотонно убывает при увеличении частоты управляющего воздействия (увеличивается фазовый сдвиг). С другой стороны запаздывание выходного сигнала относительно входного можно охарактеризовать временем задержки, которое зависит как от частоты управляющего воздействия, так и от характеристик самого транспортного средства, в том числе и от сопротивляемости боковому уводу. На более низких частотах управления данная задержка наибольшим образом проявляется и может доходить до величины близкой к одной секунде.

Диапазон управляющих частот при определении частотных характеристик был выбран в интервале от 0,1 до 4,5 Гц как наиболее вероятный при управлении [15].

По условиям испытания «переставка» определяется максимальная скорость движения транспортного средства, при которой оно не выйдет за пределы отведенного коридора при маневрировании, при этом движение происходит без заноса или отрыва колес от дорожного покрытия. При моделировании испытания управляющее воздействие описывалось следующим образом. Сначала учитывался один период синусоидального изменения угла поворота управляемых колёс с нулевой начальной фазой и последующее удержание управляющих колес в нейтральном (нулевом) положении.

На рисунках 2 и 3, для примера, изображены расчётная траектория движения центра масс специальной техники на скорости 60 км/ч с боковой жесткостью колес 80 кН/рад соответствующее изменение боковых реакций дороги во времени на колёсах различных осей. При этом управление осуществлялось на частоте 0,8 Гц, а амплитуда угла поворота управляемых колёс составила 0,22 радиан.

Принимая во внимание рисунок 2, необходимо отметить, что боковая реакция на колёсах передней оси достигает существенного значения за счёт переходного процесса в первом полупериоде управляющего воздействия, а необходимый коэффициент сцепления колес с дорогой должен находиться на уровне 0,75. В дальнейшем локальные максимумы реакции более умеренны. Что касается других осей, то тут картина выглядит следующим образом. Амплитуды боковых реакций сдвинуты во времени вправо, по отношению к графику, характеризующему изменение реакции на колёсах передней оси. По величине эти амплитуды значительно меньше и необходимый коэффициент сцепления колёс этих осей с дорогой должен быть не ниже 0,5.

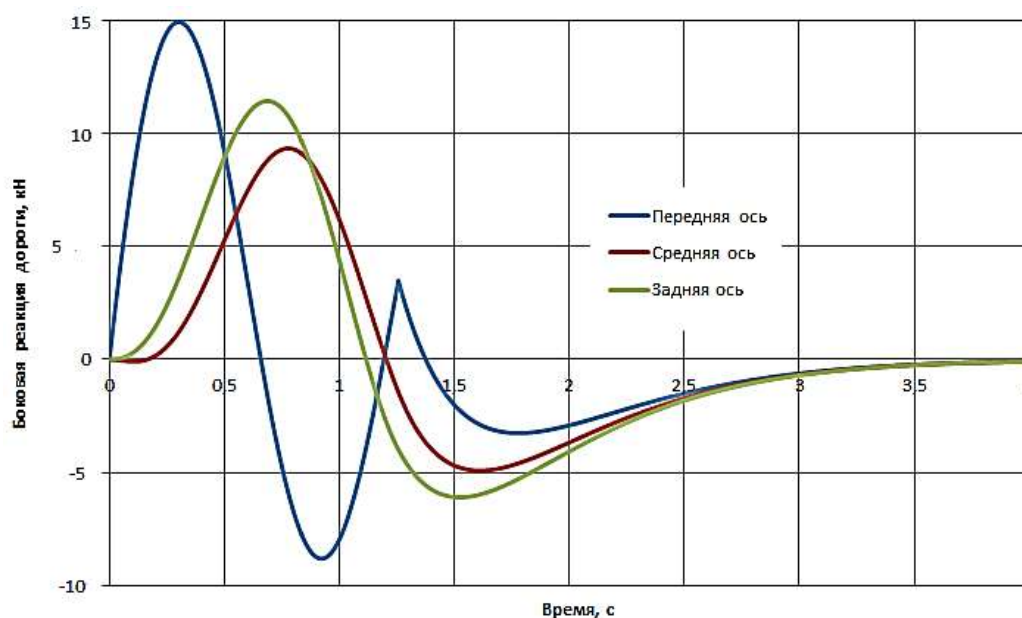


Рисунок 2 - Изменения боковых реакций на колесах низкого давления специальной вездеходной техники на шинах сверхнизкого давления

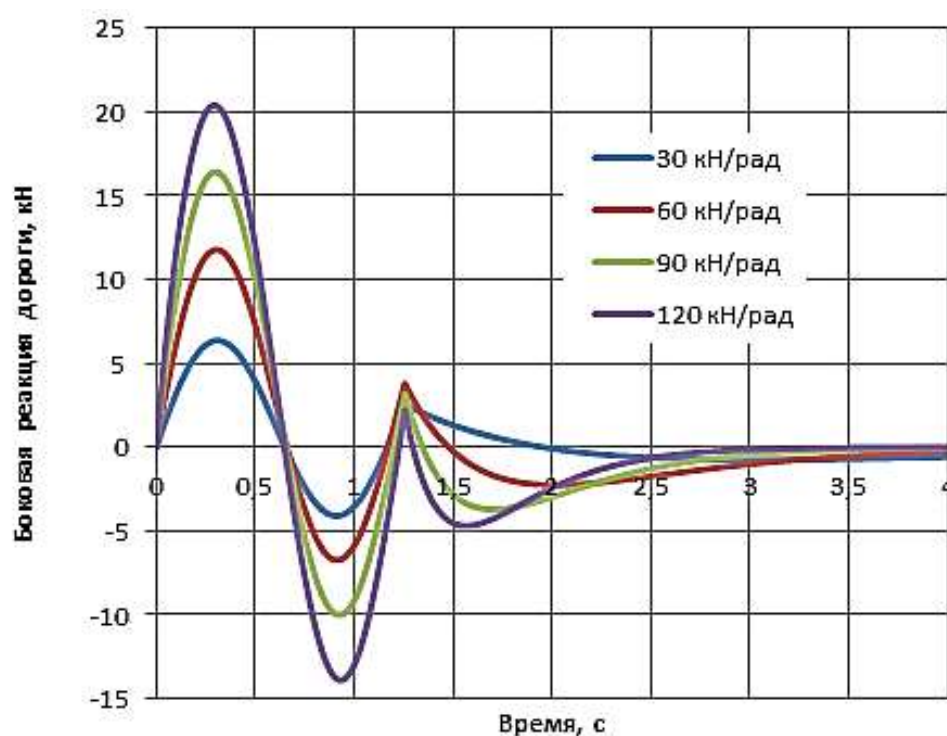


Рисунок 3 - Изменения боковых реакций дороги на колесах передней оси

Дальнейшее увеличение скорости движения приведет к необходимости увеличения частоты управления и угла поворота управляемых колёс, что должно позволить удерживать колёсную машину в установленном коридоре. Однако данные изменения вызовут увеличение боковых реакций, что отразится на возможности заноса или отрыва колёс от опорной поверхности и опрокидывания.

Обсуждение

Основными техническими причинами возникновения ДТП транспортно-технологических машин специального назначения, оснащённых шинами низкого давления на дорогах общего пользования являются недостаточная эффективность торможения, потеря устойчивости движения и слабая управляемость исследуемой техники.

Обобщая результаты, можно говорить о существенном влиянии на реакцию колесной машины частоты управляющего воздействия. На нулевой частоте («рывок руля») увеличение боковой жесткости колес положительно сказывается на управляемости машины. Происходит увеличение динамической чувствительности к управлению и уменьшение длительности переходного процесса. Увеличение скорости движения при сохранении установленного бокового ускорения приводит к уменьшению потребного угла поворота управляемых колёс. Практически не наблюдается изменение величины потребного угла поворота управляемых колёс при боковой жёсткости колёс более 90 кН/рад при равных условиях проведения испытаний. При управлении на ненулевых частотах присутствует запаздывание угловой скорости поворота колесной машины от управляющего воздействия, которое более проявляется при меньшей боковой жёсткости и большей частоте управления. Запаздывание может достигать значения близкому к одной секунде. Данный факт необходимо учитывать при управлении транспортным средством. Увеличение боковой жесткости колес благоприятно влияет на управляемость колесной машины, но и приводит к увеличению амплитуды боковых реакций, что лимитирует возможность движения без заноса или опрокидывания. В итоге, можно говорить о рациональном диапазоне изменения боковой жесткости от 60 до 90 кН/рад для безопасного передвижения технологических машин по дорогам общего пользования. Анализ результатов обоих типов испытаний для твёрдых недеформируемых опорных поверхностей с высоким коэффициентом сцепления показал, что максимальная скорость движения рассматриваемой техники составляет 50 км/ч, обеспечивающая необходимую безопасность.

Выводы

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы. При боковой жёсткости колёс менее 30 кН/рад специальное транспортно-технологическое средство имеет недопустимо большую длительность переходного процесса, превышающую две секунды, негативно влияющую на динамическую чувствительность к управлению. Увеличение боковой жесткости колес более 90 кН/рад практически не влияет на изменение потребного угла поворота управляемых колёс, но при этом уменьшает длительность переходного процесса. Однако, на скорости не более 50 км/ч, во всём диапазоне боковой жёсткости колёс, удовлетворяются все учитываемые нами условия, предъявляемые к данному испытанию, при этом начиная с 60 кН/рад контролируемые параметры, носят более рациональный характер. Таким образом, для данного испытания, можно говорить о следующем: предельная скорость прохождения манёвра по дорогам общего пользования составляет 50, км/ч при этом рациональный диапазон изменения боковой жёсткости шин сверхнизкого давления составляет от 60 до 90 кН/рад. Что касается сцепления колес с твердой опорной поверхностью, то можно с уверенностью предполагать, что при значениях $\varphi \geq 0,3$ обеспечивается необходимая устойчивость движения против заноса при выполнении манёвра.

Полученные результаты и разработанная методика расчёта движения машин позволяют применять предложенную оценку управляемости для транспортно-технологических средств оснащённых шинами высокого давления. При этом, для обеспечения заданного уровня управляемости, а следовательно и безопасности дорожного движения, как об этом говорится в работах отечественных [16] и зарубежных учёных [17] необходимо ограничивать максимально-допустимую скорость движения автомобиля и время переходного процесса. Так решение данной задачи для автомобиля «Кержак», производства ООО «Трансмаш» [18] позволяет сделать вывод о том, что максимальная скорость движения данного автомобиля по дорогам общего пользования для обеспечения его управляемости и безопасности дорожного движения не должна превышать величины 50 км/ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vanlaar W., McAteer H., Brown S., Crain J., McFaul S. Hing Injuries related to off-road vehicles in Canada // Accident Analysis and Prevention. 2016. Vol. 75. P. 264-271.
2. Jennissen Ch., Harland K.K., Wetjen K., Hoogerwerf P., O'Donel L., Denning G. All-terrain vehicle safety knowledge, riding behaviors and crash experience of farm progress show attendees // Journal of Safety Research. 2017. Vol. 60. P. 71-78.

3. Ерасов И.А., Колесниченко Н.А., Молев Ю.И., Прошин Д.Н., Шапкин В.А. Методика определения степени влияния дорожных условий и конструкционных особенностей автомобилей на безопасность дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2015. №4(51). С. 82-88.
4. Ahmed A., Sadullah A.F.M., Yahya A.S. Errors in accident data, its types, causes and methods of rectification-analysis of the literature // Accident Analysis & Prevention. 2019. №130. P. 3-21.
5. Кушвид Р.П. Прогнозирование показателей управляемости и устойчивости автомобиля с использованием комплекса экспериментальных и теоретических методов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03. М., 2004. 348 с.
6. Liu X.Y., Cao Q.Q., Wang H., Chen J.Y., Huang X.M. Evaluation of vehicle braking performance on wet pavement surface using an integrated tire-vehicle modeling approach // Transportation Research Record. 2019. Vol. 2673. P. 295-307.
7. Mirzaeinejad H., Mirzael M., Kazemi R. Enhancement of vehicle braking performance on split- roads using optimal integrated control of steering and braking systems // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K-Journal of Multi-Body Dynamics. 2016. Vol. 230. P. 401-415.
8. Denning G., Jennissen C. All-terrain vehicle fatalities on paved roads, unpaved roads, and off-road: Evidence for informed roadway safety warnings and legislation // Traffic Injury Prevention. 2016. Vol. 17. P. 406-412.
9. Denning G., Jennissen C., Harland K., Ellis D., Buresh C. All-Terrain vehicles (ATVs) on the road: a serious traffic safety and public health concern // Traffic Injury Prevention. 2013. Vol. 14. P. 78-85.
10. Denning G., Jennissen C., Harland K., Ellis D. More fatal all-terrain vehicle crashes occur on the roadway than off: increased risk-taking characterises roadway fatalities // Injury Prevention. 2013. Vol. 19. P. 250-256.
11. Ni Jun, Hu n Jibin, Xiang Changle. Relaxed static stability based on tyre cornering stiffness estimation for all-wheel-drive electric vehicle // Control Engineering Practice. Vol. 64. 2017. P.102-110.
12. Вахидов У.Ш., Куркин А.А., Левшунов Л.С. [и др.] Обеспечение устойчивости транспортно-технологических машин сельскохозяйственного назначения при торможении на шинах сверхнизкого давления // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. №4. С. 609-623.
13. Бахмутов С.В. Научные основы параметрической оптимизации автомобиля по критериям управляемости и устойчивости: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03. М., 2001. 350 с.
14. Балакина Е.В., Зотов Н.М. Устойчивость движения колесных машин. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2011. 464 с.
15. Беляков В.В., Тумасов А.В., Бутин Д.А., Вашурин А.С. Адекватность управляемости имитационной модели легкого коммерческого автомобиля // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2021. №1(132). С. 62-69.
16. Безопасность на автомобильном транспорте / С.А. Евтюков, Р.Р. Сафиуллин, Е.П. Доронина, М.Р. Баширов [и др.]. Москва-Берлин: ООО «Директ-Медиа», 2021. 388 с.
17. Байэт Р., Уотте Р. Расследование дорожно-транспортных происшествий; пер. с англ. М.: Транспорт, 1983.
18. Манянин С.Е. Повышение проходимости колесных и гусеничных машин по снегу путем научно обоснованного выбора конструктивных параметров движителей: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03. Нижний Новгород, 2019. 413 с.

Вахидов Умар Шахидович

Нижегородский государственный технический университет
Адрес: 603040, Россия, г. Н. Новгород, ул. Минина, 24
Д.т.н., зав. кафедрой «Строительные и дорожные машины»
E-mail: umar-vahidov@mail.ru

Манянин Сергей Евгеньевич

Нижегородский государственный технический университет
Адрес: 603040, Россия, г. Н. Новгород, ул. Минина, 24
Д.т.н., проф. кафедры «Строительные и дорожные машины»
E-mail: sergmanian@yandex.ru

Молев Юрий Игоревич

Нижегородский государственный технический университет
Адрес: 603040, Россия, г. Н. Новгород, ул. Минина, 24
Д.т.н., проф. кафедры «Строительные и дорожные машины»
E-mail: moleff@yandex.ru

Черевастов Максим Геннадьевич

Нижегородский государственный технический университет
Адрес: 603040, Россия, г. Н. Новгород, ул. Минина, 24
Аспирант
E-mail: chermamaxim_1978@mail.ru

U. SH. VAKHIDOV, S. YE. MANYANIN, YU.I. MOLEV, M.G. CHEREVASTOV

**ENSURING THE CONTROLLABILITY OF SPECIAL-PURPOSE
TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL VEHICLES WITH ULTRA-LOW
PRESSURE TIRES WHEN DRIVING ON PUBLIC ROADS**

Abstract. The results of the analysis of changes in the controllability of vehicles when driving on ultra-low pressure tires on public roads are presented. The presence of a significant influence on the reaction of a wheeled vehicle of the frequency of the control action has been proved. Such an indicator of the change in controllability as the delay in the angular velocity of rotation of the wheeled vehicle from the control action is proposed. The results of mathematical modeling of the effect of the parameters of ultra-low pressure wheels on the directional controllability of all-terrain vehicles are obtained. The data provided made it possible to identify the safest tire stiffness parameters (and hence the amount of air pressure) the vehicle, affecting its active safety, as well as determine the limits of their permissible modification. It has been established that in the entire range of changes in the parameters of ultra-low pressure tires, the speed of all-terrain vehicles on public roads should not exceed 50 km/h.

Keywords: traffic safety, braking, stability, center of mass, skid, transport and technological machines for agricultural purposes, ultralow pressure wheels

BIBLIOGRAPHY

1. Vanlaar W., McAteer H., Brown S., Crain J., McFaul S. Hing Injuries related to offroad vehicles in Canada // Accident Analysis and Prevention. 2016. Vol. 75. R. 264-271.
2. Jennissen Ch., Harland K.K., Wetjen K., Hoogerwerf P., O'Donel L., Denning G. Allterrain vehicle safety knowledge, riding behaviors and crash experience of farm progress show attendees // Journal of Safety Research. 2017. Vol. 60. R. 71-78.
3. Erasov I.A., Kolesnichenko N.A., Molev Yu.I., Proshin D.N., Shapkin V.A. Metodika opredeleniya stepeni vliyaniya dorozhnykh usloviy i konstruktivnykh osobennostey avtomobiley na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2015. №4(51). S. 82-88.
4. Ahmed A., Sadullah A.F.M., Yahya A.S. Errors in accident data, its types, causes and methods of rectification-analysis of the literature // Accident Analysis & Prevention. 2019. №130. P. 3-21.
5. Kushvid R.P. Prognozirovaniye pokazateley upravlyaemosti i ustoychivosti avtomobilya s ispol'zovaniem kompleksa eksperimental'nykh i teoreticheskikh metodov: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.05.03. M., 2004. 348 s.
6. Liu X.Y., Cao Q.Q., Wang H., Chen J.Y., Huang X.M. Evaluation of vehicle braking performance on wet pavement surface using an integrated tire-vehicle modeling approach // Transportation Research Record. 2019. Vol. 2673. R. 295-307.
7. Mirzaeinejad H., Mirzael M., Kazemi R. Enhancement of vehicle braking performance on splitroads using optimal integrated control of steering and braking systems // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K-Journal of Multi-Body Dynamics. 2016. Vol. 230. R. 401-415.
8. Denning G., Jennissen C. All-terrain vehicle fatalities on paved roads, unpaved roads, and offroad: Evidence for informed roadway safety warnings and legislation // Traffic Injury Prevention. 2016. Vol. 17. R. 406-412.
9. Denning G., Jennissen C., Harland K., Ellis D., Buersh C. All-Terrain vehicles (ATVs) on the road: a serious traffic safety and public health concern // Traffic Injury Prevention. 2013. Vol. 14. R. 78-85.
10. Denning G., Jennissen C., Harland K., Ellis D. More fatal allterrain vehicle crashes occur on the roadway than off: increased risktaking characterises roadway fatalities // Injury Prevention. 2013. Vol. 19. R. 250-256.
11. Ni Jun, Hu n Jibin, Xiang Changle. Relaxed static stability based on tyre cornering stiffness estimation for all-wheel-drive electric vehicle // Control Engineering Practice. Vol. 64. 2017. R.102-110.
12. Vakhidov U.Sh., Kurkin A.A., Levshunov L.S. [i dr.] Obespechenie ustoychivosti transportno-tekhnologicheskikh mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya pri tormozhenii na shinakh sverkhnizkogo davleniya // Inzhenernye tekhnologii i sistemy. 2020. T. 30. №4. S. 609-623.
13. Bakhmutov S.V. Nauchnye osnovy parametricheskoy optimizatsii avtomobilya po kriteriyam upravlyaemosti i ustoychivosti: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.05.03. M., 2001. 350 s.
14. Balakina E.V., Zotov N.M. Ustoychivost' dvizheniya kolesnykh mashin. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2011. 464 s.
15. Belyakov V.V., Tumasov A.V., Butin D.A., Vashurin A.S. Adekvatnost' upravlyaemosti imitatsionnoy modeli legkogo kommercheskogo avtomobilya // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. 2021. №1(132). S. 62-69.
16. Bezopasnost' na avtomobil'nom transporte / S.A. Evtyukov, R.R. Safiullin, E.P. Doronina, M.R. Bashirov [i dr.]. Moskva-Berlin: OOO «Direkt-Media», 2021. 388 s.
17. Bayet R., Uotte R. Rassledovanie dorozhno-transportnykh proisshestviy; per. s angl. M.: Transport, 1983.
18. Manyanin S.E. Povyshenie prokhodimosti kolesnykh i gusenichnykh mashin po snegu putem nauchno obosnovannogo vybora konstruktivnykh parametrov dvizhiteley: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.05.03. Nizhniy Novgorod, 2019. 413 s.

Vakhidov Umar Shakhidovich

Nizhny Novgorod State Technical University
Address: Nizhny Novgorod, Russia, Minin str., 24
Doctor of technical science
E-mail: umar-vahidov@mail.ru

Manyanin Sergei Evgenievich

Nizhny Novgorod State Technical University
Address: Nizhny Novgorod, Russia, Minin str., 24
Doctor of technical science
E-mail: sergmanian@yandex.ru

Molev Yuri Igorevich

Nizhny Novgorod State Technical University
Address: Nizhny Novgorod, Russia, Minin str., 24
Doctor of technical science
E-mail: moleff@yandex.ru

Cherevastov Maksim Gennadievich

Nizhny Novgorod State Technical University
Address: Nizhny Novgorod, Russia, Minin str., 24
Graduate student
E-mail: chermaksim_1978@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-82-88

Ц. ЦЗИНЬ, В.В. ЗЫРЯНОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОИСШЕСТВИЯ: ПРИМЕНЕНИЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

Аннотация. В статье приведены результаты факторного анализа данных по дорожно-транспортным происшествиям, целью которого является выявление ключевых факторов, способствующих их возникновению. Основное внимание уделяется таким переменным, как стаж водителя, поведение водителя, типы транспортных средств, состояние дорожного покрытия и официальный праздничный день. С использованием статистических методов была раскрыта структура данных о происшествиях, и были идентифицированы два главных компонента, что позволило предложить новые подходы к стратегиям и мерам по повышению безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, факторный анализ, безопасность дорожного движения, факторы дорожно-транспортных происшествий

Введение

Безопасность на дорогах остается одной из самых острых проблем современного общества. Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) представляют собой не только угрозу для жизни и здоровья людей, но также наносят серьезный ущерб социально-экономической стабильности. Несмотря на все усилия, приложенные в последнее время для улучшения управления дорожным движением и законодательной базы, частота ДТП по-прежнему остается высокой. Это подчеркивает критическую необходимость более тщательного анализа причин ДТП и создания более эффективных стратегий их предупреждения.

Исследование направлено на анализ ключевых факторов, оказывающих влияние на ДТП. На основе факторного анализа было исследовано около 5000 ДТП. Факторный анализ позволяет выявить ключевые факторы из множества потенциальных переменных, влияющих на дорожно-транспортные происшествия. Понимание взаимосвязей и влияния этих факторов позволяет получить новые данные о совокупности причины ДТП и поддержать разработку стратегий по управлению дорожной безопасностью и предотвращению ДТП [1].

В свете прогресса в области обработки данных, получит возможность извлекать уроки из прошлых ДТП, выявлять закономерности и, основываясь на этих данных, разрабатывать меры предотвращения. Данное исследование не только способствует углублению нашего понимания причин ДТП, но также и способствует разработке более целенаправленных стратегий обеспечения безопасности на дорогах. Это, в свою очередь, помогает уменьшить количество происшествий и гарантировать безопасность всех участников дорожного движения [2].

Материал и методы

Сбор данных

В данном исследовании было собрано 4879 записей о ДТП. Для проведения факторного анализа были учтены различные переменные, в том числе стаж вождения водителя, поведение водителя, типы транспортных средств, состояние дорожного покрытия, а также то, произошло ли ДТП в период официальных праздничных дней. Эти первичные ключевые информационные параметры могут отражать связь между дорожно-транспортными происшествиями. Использование статистических методов позволило не только выявить влияние каждого из факторов в отдельности, но и проанализировать их взаимосвязь и сложные взаимодействия.

Многоаспектный характер ДТП потребовал от нас использования комплексного аналитического подхода для глубокого понимания причин происшествий. В процессе сбора данных каждый фактор был тщательно закодирован для отражения его относительной значимости или частоты появления в происшествиях, как демонстрируется в таблице 1 [3-5].

Таблица 1 - Категории факторов и их детальные коды

Фактор	Категория	Кодировка
Стаж водителя	0-3года	0.536585
	4-6лет	0.161918
	6-9 лет	0.109244
	9-12 лет	0.10207
	Более 12 лет	0.090182
Тип транспортного средства	Автомобиль	0.74585
	Электромобиль	0.148186
	Мотоцикл	0.064152
	Другие ТС	0.041812
Официальный праздничный день	Нет	0.926829
	Да	0.073171
Поведение водителя	Отвлечение внимания во время вождения, использование телефона, усталость и т.д.	0.609756
	Незнание правил дорожного движения	0.233654
	Умышленные нарушения	0.092027
	Проблемы с транспортным средством и другие причины	0.019676
	Недостаточные навыки вождения	0.044886
Состояние дорожного покрытия	Сухое	0.888092
	Влажное	0.062718
	затопленное	0.039557
	Снежное+Туман	0.009633

Метод факторного анализа

Перед проведением факторного анализа была выполнена тщательная предварительная обработка данных, включая обработку пропущенных значений и выбросов, а также нормализацию кодирования переменных. Затем, используя STATISTICA 10 в качестве инструмента анализа, был применён метод главных компонент (РСА) для выявления латентной структуры факторов в данных. Для оценки пригодности данных для факторного анализа были использованы мера Kaiser-Meyer-Olkin (КМО) и тест сферичности Бартлетта. Результаты показали значение КМО равным 0.729 и значимость теста Бартлетта с р-значением значительно меньше 0.001, что указывает на целесообразность проведения факторного анализа [6-7].

Теория

Факторный анализ индикаторной системы

Факторный анализ является статистическим методом, который позволяет изучать скрытые взаимосвязи между переменными, выявляя неочевидные факторы за множеством наблюдаемых переменных и тем самым уменьшая их количество. В контексте анализа дорожно-транспортных происшествий этот метод применяется для определения ключевых факторов, влияющих на ДТП, обеспечивая более глубокое понимание для их предотвращения и управления безопасностью.

Стандартная форма факторной модели:

$$X = AF + \epsilon, \quad (1)$$

где X - это наблюдаемые переменные;

A - это матрица факторных нагрузок;

F - общие факторы;

ϵ - уникальные факторы.

Результаты факторного анализа

При использовании STATISTICA 10 для проведения анализа связей и анализа основных компонентов данных, представленных в таблице 1, были получены следующие резуль-

таты. Результаты анализа корреляций представлены в таблице 2, а результаты анализа основных компонентов - в таблицах 3 и 4, а также на рисунке 1.

Таблица 2 - Матрица корреляции показателей

Корреляция	Поведение водителя	Состояние дорожного покрытия	Является ли официальным праздничным днем	Тип транспортного средства	Стаж вождения
Поведение водителя	1.000	0.604	0.499	0.812	0.799
Состояние дорожного покрытия	0.604	1.000	0.799	0.669	0.312
Является ли официальным праздничным днем	0.499	0.799	1.000	0.538	0.247
Тип транспортного средства	0.812	0.669	0.538	1.000	0.580
Стаж вождения	0.799	0.312	0.247	0.580	1.000

Исходя из матрицы корреляций различных индикаторов в таблице 2, можно сделать следующие выводы:

Сильная корреляция

Между поведением водителя и типом транспортного средства наблюдается очень высокая корреляция (0.812), что указывает на тесную связь между поведением водителя и типами транспортных средств.

Поведение водителя и стаж вождения также показывают сильную корреляцию (0.799), что означает, что поведение водителя тесно связано с опытом вождения.

Состояние дорожного покрытия и явление официальным праздничным днем демонстрируют сильную корреляцию (0.799), что подтверждает тесную связь между состоянием дорог и наличием праздничных дней.

Средняя, но ближе к сильной корреляция

Корреляция между поведением водителя и состоянием дорожного покрытия находится в верхнем сегменте среднего уровня (0.604), что указывает на значительную связь между этими факторами.

Тип транспортного средства и состояние дорожного покрытия также имеют корреляцию в верхнем сегменте среднего уровня (0.669).

Корреляция между типом транспортного средства и стажем вождения находится на верхнем уровне среднего диапазона (0.580), что свидетельствует о наличии определенной связи между типами транспортных средств и опытом вождения.

Средняя корреляция

Корреляция между официальными праздничными днями и типом транспортного средства находится на среднем уровне (0.538), что говорит о наличии связи между праздниками и типами транспортных средств.

Низкая корреляция

Корреляция между состоянием дорожного покрытия и стажем вождения (0.312), а также между официальными праздничными днями и стажем вождения (0.247) является низкой, что указывает на относительно слабую связь между этими факторами.

Из этой матрицы видно, что поведение водителя тесно связано с типом транспортного средства и опытом вождения. В то же время, сильная корреляция между состоянием дорог и наличием праздничных дней подсказывает, что определенные даты и состояние дорог могут совместно влиять на возникновение ДТП. Низкая корреляция между состоянием дорог и опытом вождения, а также между праздниками и опытом вождения может свидетельствовать о том, что эти факторы оказывают относительно небольшое прямое влияние на ДТП или

влияют на ДТП косвенно через взаимодействие с другими факторами [8].

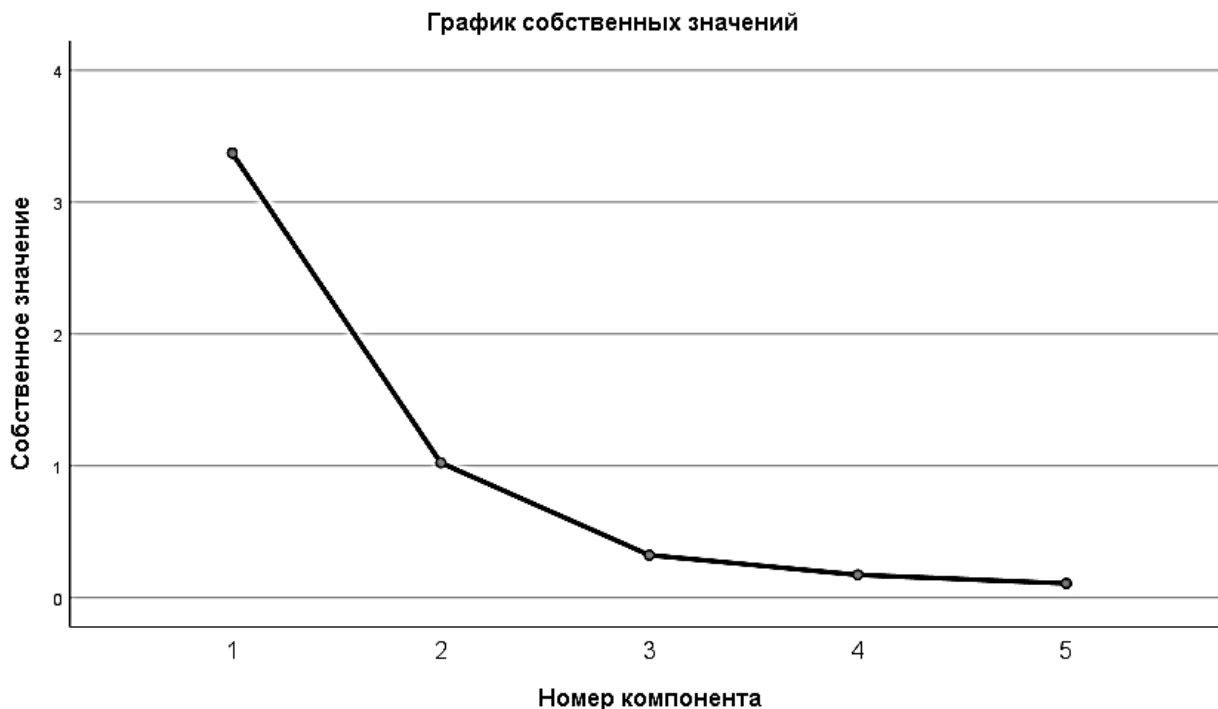


Рис 1 - Схема каменной кладки

Таблица 3 - Объяснение общей дисперсии

Компо- нент	Начальные собственные значения			Извлечение суммы квадратов нагрузок			Ротация суммы квадратов нагрузок		
	Всего	% дис- персии	Суммар- ный %	Всего	% дис- персии	Суммар- ный %	Всего	% дис- персии	Суммар- ный %
1	3.372	67.438	67.438	3.372	67.438	67.438	2.244	44.884	44.884
2	1.023	20.465	87.903	1.023	20.465	87.903	2.152	43.019	87.903
3	0.323	6.462	94.364						
4	0.173	3.468	97.833						
5	0.108	2.167	100.000						

Исходя из рисунка 1 и таблицы 3 объяснения общей дисперсии, можно сделать следующие выводы

Компоненты 1 и 2 до вращения занимали подавляющее большинство дисперсии, составляя соответственно 67.438 % и 20.465 %, в сумме достигая 87.903 % накопленной дисперсии. Это означает, что эти два компонента уже захватили большую часть информации, содержащейся в наборе данных.

После извлечения компонент 1 сохраняет свои собственные значения и процент объясненной дисперсии без изменений, что указывает на его сильное присутствие в данных. Компонент 2 также сохраняет свои собственные значения и процент объясненной дисперсии.

После вращения проценты объясненной дисперсии для компонентов 1 и 2 меняются на 44.884 % и 43.019 % соответственно, с накопленной дисперсией, близкой к дисперсии до извлечения (87.903 %). Это указывает на то, что вращенные компоненты по-прежнему эффективно объясняют основную вариативность данных, но дисперсия теперь более равномерно распределена между двумя компонентами.

Компоненты 3, 4 и 5 имеют относительно низкие начальные собственные значения, занимая соответственно 6.462 %, 3.468 % и 2.167 % дисперсии, что указывает на то, что они содержат гораздо меньше информации по сравнению с первыми двумя компонентами. Поэтому, в практическом применении, эти компоненты могут быть проигнорированы для упрощения модели, особенно когда накопленная дисперсия уже достигла относительно высокого процента.

Таблица 4 - Матрица компонентов после вращения

	Компонент	
	1	2
Поведение водителя	0.408	0.873
Состояние дорожного покрытия	0.906	0.277
Является ли официальным праздничным днем	0.924	0.148
Тип транспортного средства	0.555	0.700
Стаж вождения	0.044	0.945
Метод выделения факторов: метод главных компонент.		
Метод вращения: варимакс с нормализацией Кайзера.		
а. Вращение сошлось за 3 итераций.		

Из таблицы 4 матрицы компонентов после вращения можно сделать следующие выводы:

- компонент 1 тесно связан с «Состоянием дорожного покрытия» (условия дороги, с коэффициентом загрузки 0.906) и «Является ли официальным праздничным днем» (является ли день официальным праздником, с коэффициентом загрузки 0.924). Это означает, что этот компонент, вероятно, представляет факторы, связанные с внешней средой и специальными датами, которые играют важную роль в причинах дорожно-транспортных происшествий.

- компонент 2 сильно связан с «поведением водителя» (поведение водителя, с коэффициентом загрузки 0.873) и «Стажем вождения» (опытом вождения, с коэффициентом загрузки 0.945). Это указывает на то, что второй компонент, возможно, представляет факторы, связанные с индивидуальным поведением водителя и его опытом, которые также очень важны в контексте происшествий.

«Тип транспортного средства» имеет относительно сбалансированный коэффициент загрузки на обоих компонентах (0.5 и 0.700), что указывает на то, что тип транспортного средства оказывает определённое влияние как на внешние, так и на индивидуальные аспекты поведения водителя.

Заметно, что «Стаж вождения» имеет очень высокий коэффициент загрузки на компоненте 2 (0.945), что подчёркивает важность опыта вождения в анализе причин ДТП.

В сравнении, «поведение водителя», хотя и имеют высокий коэффициент загрузки на компоненте 2, также показывают определённый коэффициент загрузки на компоненте 1 (0.408), что может означать, что поведение водителя не только связаны с индивидуальным поведением и опытом, но также и с внешними факторами окружающей среды.

Обсуждение

Это исследование успешно выделило два основных фактора из 4879 записей о дорожно-транспортных происшествиях с помощью метода факторного анализа, объясняя 87.903 % общей дисперсии данных. Эти результаты подчеркивают важную роль таких факторов, как время происшествия, наличие праздничных дней, тип транспортного средства и опыт вождения, в дорожно-транспортных происшествиях.

Вклад в существующие исследования

Результаты согласуются с предыдущими исследованиями и подтверждают многофакторную природу происшествий на дорогах. В частности, значимость временных факторов (включая время дня и праздничные дни) в происшествиях соответствует выводам, представленным в литературе. Кроме того, выделение опыта вождения и типа транспортного средства как важных факторов дополнительно подчеркивает важность опыта водителей и характеристик транспортного средства в управлении безопасностью дорожного движения [9.10.11].

Теоретическое и практическое значение

Исследование не только предоставляет теоретическую поддержку для понимания причин дорожно-транспортных происшествий, но и имеет практическое значение. Например, меры по управлению дорожным движением в периоды высокого риска и улучшение качества обучения вождению для новых водителей могут быть эффективными способами снижения числа происшествий. Кроме того, учитывая влияние типа транспортного средства, улучше-

ние конструкции транспортных средств и повышение осведомленности общественности о различиях в безопасности разных типов транспортных средств также являются важными аспектами повышения безопасности на дорогах [12].

Ограничения исследования

Несмотря на ценные выводы, исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, из-за ограничений в сборе данных могли быть не учтены все потенциальные факторы, влияющие на дорожно-транспортные происшествия. Во-вторых, факторный анализ основывается на предположении о линейных связях между переменными, что может не полностью отражать сложные взаимодействия между ними [13].

Направления будущих исследований

Будущие исследования могут изучить дополнительные потенциальные факторы, такие как погодные условия и дизайн дорог, а также то, как эти факторы взаимодействуют с уже идентифицированными факторами. Применение более сложных статистических моделей, таких как модели структурных уравнений, может помочь лучше понять связи между переменными и внутреннюю структуру причин происшествий [14].

Вывод

Это исследование глубоко исследует причины дорожно-транспортных происшествий с помощью факторного анализа, выделяя значительную связь между причинами происшествий и типом транспортного средства, опытом вождения, а также между состоянием дорог и праздничными днями. Эти выводы имеют важное значение для разработки целенаправленных стратегий безопасности дорожного движения и вмешательств. С дальнейшим исследованием и анализом мы можем ожидать более эффективных мер для снижения числа дорожно-транспортных происшествий и защиты общественной безопасности [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Montoya-Alcaraz M., Mungaray-Moctezuma A., Calderón-Ramírez J., García L., Martínez-Lazcano C. Road Safety Analysis of High-Risk Roads // Case Study in Baja California. México. Safety. 6(4). 2020. 45. DOI: 10.3390/safety6040045.
2. Mehdizadeh A., Cai M., Hu Q., Alamdar Yazdi M.A., Mohabbati-Kalejahi N., Vinel A., Rigdon S.E., Davis K.C., Megahed F.M. A Review of Data Analytic Applications in Road Traffic Safety. Part 1: Descriptive and Predictive Modeling. Sensors. 20(4). 2020. 1107. DOI: 10.3390/s20041107.
3. Wang Y., Zhai H., Cao X., Geng X. Cause Analysis and Accident Classification of Road Traffic Accidents Based on Complex Networks. Applied Sciences. 13(23). 2023. 12963. <https://doi.org/10.3390/app132312963>
4. Valdivieso Caraguay A.L., Hernández-Álvarez M. A Systematic Literature Review of Learning-Based Traffic Accident Prediction Models Based on Heterogeneous Sources // Applied Sciences. 12(9). 2022. 4529. <https://doi.org/10.3390/app12094529>
5. Wang J., Ma S., Jiao P., Ji L., Sun X., Lu H. Analyzing the Risk Factors of Traffic Accident Severity Using a Combination of Random Forest and Association Rules // Applied Sciences. 13(14). 2023. 8559. <https://doi.org/10.3390/app13148559>
6. Zhuang Mingke, Bai Haifeng, Xie Xiaofei. Analysis of drivers' risky driving behavior and research on related factors. 2008.
7. Li Wenliang, Zhou Wei, Guo Zhiping. Analysis of factors affecting highway traffic safety // Highway and Auto Transport. 2008. 6. 51-54.
8. Othman W., Hamoud B., Kashevnik A., Shilov N., Ali A. A Machine Learning-Based Correlation Analysis between Driver Behaviour and Vital Signs // Approach and Case Study. Sensors. 23(17). 2023. 7387. <https://doi.org/10.3390/s23177387>
9. Иванов А.В., Петрова Е.Г. Анализ временных факторов влияния на дорожно-транспортные происшествия // Журнал Транспортной Безопасности и Технологии. 6(2). 2018. 123-134.
10. Смирнов Е.Д. Влияние опыта вождения на вероятность дорожно-транспортных происшествий // Вестник Автомобильного Транспорта. 45(4). 2019. 237-245.
11. Кузнецова И.К., Морозов В.А. Тип транспортного средства и его влияние на безопасность дорожного движения // Журнал Дорожной Науки. 7(1). 2020. 1-10.
12. Белова О.Ю. Многофакторный анализ причин дорожно-транспортных происшествий // Научный Обзор: Теория и Практика. 11. 2021. 768-782.
13. Левин А.Б. Моделирование дорожно-транспортных происшествий: От теории к практике // Журнал Моделирования и Анализа Данных. 9(3). 2017. 357-366.
14. Павлов Д.С., Чернов С.И. Погодные условия как фактор риска дорожно-транспортных происшествий // Метеорология и Гидрология. 2. 2022. 109-117.
15. Соколова Ю.А., Федорова В.П. Влияние дизайна дорог на безопасность движения // Журнал Урбанистики и Архитектуры. 4(12). 45-52.

Донской государственный технический университет
Адрес: 344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
Д.т.н.
E-mail: 1181878783@qq.com

Зырянов Владимир Васильевич
Донской государственный технический университет
Адрес: 344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой организации перевозок и дорожного движения
E-mail: tolbage@mail.ru

ZIMING JIN, V.V. ZYRYANOV

DETERMINING KEY FACTORS INFLUENCING ROAD TRAFFIC INCIDENTS: APPLICATION OF FACTOR ANALYSIS

Abstract. *The article presents the results of factor analysis of data on road traffic incidents, aimed at identifying key factors contributing to their occurrence. The main focus is on variables such as drivers' experience, causes of incidents, types of vehicles involved, road conditions, and the date of the incidents. By using statistical methods, the structure of incident data was uncovered, and two main components were identified, allowing for the proposal of new approaches to strategies and measures to enhance road traffic safety.*

Keywords: *road traffic accidents, factor analysis, road safety, factors of road traffic accidents*

BIBLIOGRAPHY

1. Montoya-Alcaraz M., Mungaray-Moctezuma A., Calderon-Ramirez J., Garca L., Martinez-Lazcano C. Road Safety Analysis of High-Risk Roads // Case Study in Baja California. Mexico. Safety. 6(4). 2020. 45. DOI: 10.3390/safety6040045.
2. Mehdizadeh A., Cai M., Hu Q., Alamdar Yazdi M.A., Mohabbati-Kalejahi N., Vinel A., Rigdon S.E., Davis K.C., Megahed F.M. A Review of Data Analytic Applications in Road Traffic Safety. Part 1: Descriptive and Predictive Modeling. Sensors. 20(4). 2020. 1107. DOI: 10.3390/s20041107.
3. Wang Y., Zhai H., Cao X., Geng X. Cause Analysis and Accident Classification of Road Traffic Accidents Based on Complex Networks. Applied Sciences. 13(23). 2023. 12963. <https://doi.org/10.3390/app132312963>
4. Valdivieso Caraguay L., Hernandez-Ivarez M. A Systematic Literature Review of Learning-Based Traffic Accident Prediction Models Based on Heterogeneous Sources // Applied Sciences. 12(9). 2022. 4529. <https://doi.org/10.3390/app12094529>
5. Wang J., Ma S., Jiao P., Ji L., Sun X., Lu H. Analyzing the Risk Factors of Traffic Accident Severity Using a Combination of Random Forest and Association Rules // Applied Sciences. 13(14). 2023. 8559. <https://doi.org/10.3390/app13148559>
6. Zhuang Mingke, Bai Haifeng, Xie Xiaofei. Analysis of drivers' risky driving behavior and research on related factors. 2008.
7. Li Wenliang, Zhou Wei, Guo Zhiping. Analysis of factors affecting highway traffic safety // Highway and Auto Transport. 2008. 6. 51-54.
8. Othman W., Hamoud B., Kashevnik A., Shilov N., Ali A. A Machine Learning-Based Correlation Analysis between Driver Behaviour and Vital Signs // Approach and Case Study. Sensors. 23(17). 2023. 7387. <https://doi.org/10.3390/s23177387>
9. Ivanov A.V., Petrova E.G. Analiz vremennykh faktorov vliyaniya na dorozhno-transportnye proisshestviya // Zhurnal Transportov Bezopasnosti i Tekhnologii. 6(2). 2018. 123-134.
10. Smirnov E.D. Vliyanie opyta vozhdeniya na veroyatnost' dorozhno-transportnykh proisshestviy // Vestnik Avtomobil'nogo Transporta. 45(4). 2019. 237-245.
11. Kuznetsova I.K., Morozov V.A. Tip transportnogo sredstva i ego vliyanie na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // Zhurnal Dorozhnoy Nauki. 7(1). 2020. 1-10.
12. Belova O.Yu. Mnogofaktornyy analiz prichin dorozhno-transportnykh proisshestviy // Nauchnyy Obzor: Teoriya i Praktika. 11. 2021. 768-782.
13. Levin A.B. Modelirovanie dorozhno-transportnykh proisshestviy: Ot teorii k praktike // Zhurnal Modelirovaniya i Analiza Danykh. 9(3). 2017. 357-366.
14. Pavlov D.S., Chernov S.I. Pogodnye usloviya kak faktor riska dorozhno-transportnykh proisshestviy // Meteorologiya i Gidrologiya. 2. 2022. 109-117.
15. Sokolova Yu.A., Fedorova V.P. Vliyanie dizayna dorog na bezopasnost' dvizheniya // Zhurnal Urbanistiki i Arkhitektury. 4(12). 45-52.

Jin Ziming
Don State Technical University
Address: 344002, Russia, Rostov-on-Don
Doctor of technical sciences
E-mail: 1181878783@qq.com

Zyryanov Vladimir Vasilievich
Don State Technical University
Address: 344002, Russia, Rostov-on-Don
Doctor of technical sciences
E-mail: tolbage@mail.ru

Научная статья

УДК: 622.684+656.07+658.286

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-89-98

А.С. СЕМЫКИНА, Н.А. ЗАГОРОДНИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. В работе определяется рациональный период эксплуатации карьерного автомобильного транспорта. Установлено: при использовании разработанной структуры проведения ремонта с эффективной периодичностью, объемом и содержанием работ увеличивается эксплуатационный срок службы автомобилей, что позволяет достичь максимальной эффективности технической эксплуатации карьерной техники для горно-обогатительных комбинатов и снизить простой транспорта в ремонте.

Ключевые слова: карьерный автомобильный транспорт, карьерный самосвал, эксплуатация карьерных автомобилей, период эксплуатации карьерного автомобильного транспорта, ремонт карьерных автомобилей, отказы и неисправности двигателей карьерных автомобилей

Введение

На горно-обогатительных комбинатах (ГОК) для перевозки железорудного сырья используют различные виды транспорта, в том числе и автомобильный. Перевозка полезных ископаемых со дна карьера до перегрузочной площадки, временного пункта хранения, склада или обогатительной фабрики осуществляется карьерными самосвалами. На ГОКах используются самосвалы различных марок: БЕЛАЗ, CAT, Caterpillar и др. грузоподъемностью 45, 130, 180, 220 т. [1]. Они функционируют в тяжелых условиях, поэтому к их техническому состоянию предъявляется множество требований для обеспечения их заданных функций. Возникновение отказов и неисправностей карьерной техники влечет за собой огромные потери как временные, так и материальные. Простой транспорта в ремонте могут достигать и более месяца. Длительность ремонта карьерного самосвала зависит не только от вида возникшей неисправности, но и от организации технологического процесса ремонта и поставок запасных частей. В настоящее время остро встает вопрос о возможности применения восстановленных деталей для ремонта, т.к. сроки простоя из-за дефицита запасных частей могут быть значительно увеличены и приносить огромные убытки, связанные с отсутствием рабочей единицы на линии [2].

Производственный процесс горно-обогатительных предприятий состоит из следующих основных этапов:

- 1) добыча и доставка руды на усреднительный и промежуточные склады;
- 2) транспортировка руды из усреднительного и промежуточных складов на обогатительную фабрику;
- 3) обогащение руды на обогатительной фабрике.

Каждый этап производства неразрывно связан с эксплуатацией карьерного автомобильного транспорта. В период эксплуатации большегрузной техники возможно возникновение отказов как постепенного, так и внезапного (случайного) характера. Возникшие неисправности снижают эффективность работы самосвалов, а также эффективность самого производства предприятия в целом.

При возникновении неисправностей двигателя карьерных самосвалов требуется проведение его капитального ремонта или замена на новый. Например, у двигателя MTU DD16V4000 карьерного самосвала БЕЛАЗ-75309, ресурс, заложенный заводом-изготовителем, вырабатывается при наработке 30,0 тыс. мото-ч и далее наступает отказ. Автотремонтная служба ГОКов разрабатывает различные мероприятия, направленные на увеличение ресурса и исключение возможности скорейшей замены двигателя новым [3]. В совре-

менных экономических условиях стоимость рассматриваемого двигателя достигает более 20 000 000 руб., и она растет. Поэтому руководящий состав ГОКов заинтересован в проведении научных исследований и экспериментов для определения рационального периода эксплуатации карьерного автомобильного транспорта [4].

Выбранный и подтвержденный рациональный срок службы карьерных автомобильных двигателей позволит применить свои направления совершенствования работы и для других карьерных самосвалов и автотранспортных предприятий, что позволит решить научно-практическую задачу, имеющую важное народно-хозяйственное значение для страны в целом.

Материал и методы

Эксплуатация карьерного автомобильного транспорта на горно-обогатительных комбинатах осуществляется согласно разработанного алгоритму работы, представленному на рисунке 1.

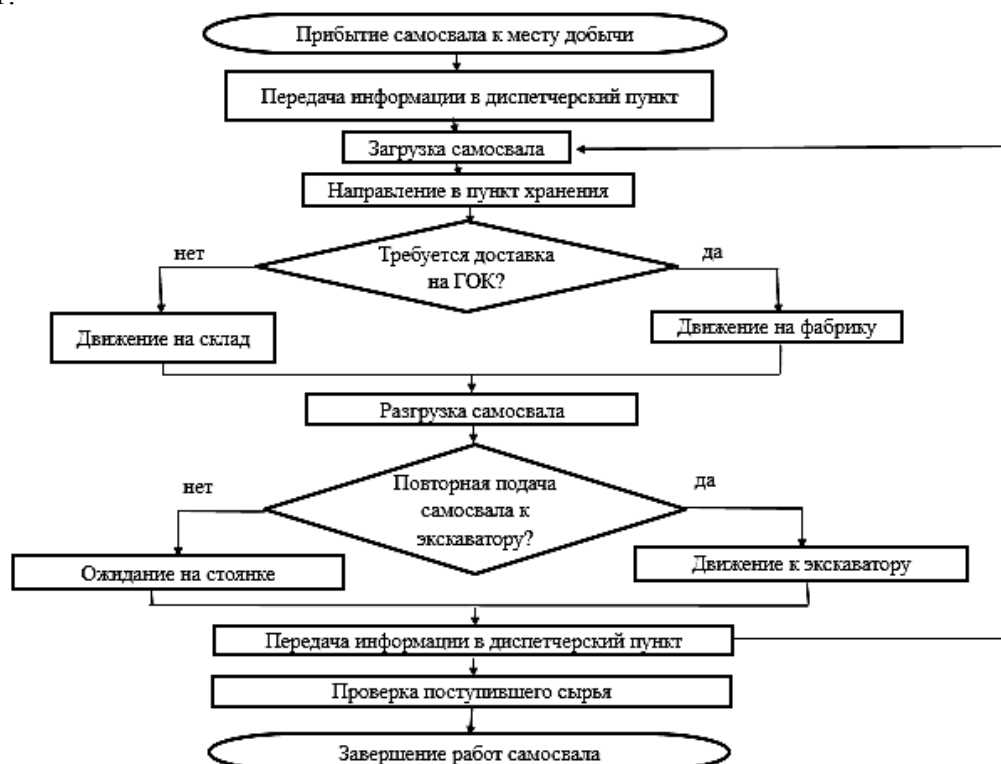


Рисунок 1 – Алгоритм работы самосвалов в карьере

Карьерный самосвал прибывает к месту добычи железорудного сырья. В это время необходимые сведения и информация передаются в диспетчерский пункт. В дальнейшем производится загрузка самосвала сырьем и его перемещение к месту разгрузки. Если требуется доставка железорудного сырья непосредственно на обогатительную фабрику, то самосвал отправляется на фабрику или же к ближайшему складу в зависимости от удаленности места добычи в карьере. По прибытию в пункт назначения производится разгрузка самосвала. Далее он отправляется либо на стоянку в зону ожидания, либо повторно для загрузки в карьер. В это время вся информация о проводимых операциях передается в диспетчерский пункт. Затем проводится проверка сырья, взвешивание и завершение погрузочно-разгрузочных работ самосвалом [5].

Алгоритм работы самосвалов включает в себя:

- определение времени прибытия самосвала;
- определение состояния и количества сырья;
- контроль всех проводимых операций процесса перевозки;
- погрузочно-разгрузочные работы самосвала;
- передача информации в диспетчерский пункт;
- определение времени окончания работ самосвалом [6].

При возникновении различных нарушений в реализации алгоритма работы самосвалов, а именно: увеличенного времени погрузки-разгрузки транспорта, задержки подачи самосвала к экскаватору, нарушения очередности подачи транспорта, неравномерности загрузки техники, возникновения отказов и неисправностей карьерного автомобильного транспорта и др. происходит задержка всего транспорта, выявляются сбои в работе, появляются простои транспорта и как следствие всего, в совокупности проблем, может произойти полностью остановка процесса транспортировки железорудного сырья по всему карьеру.

Эффективность использования автотранспорта зависит от многих показателей, например от скорости движения транспорта по карьеру, расхода топлива транспортом, расстояния от места добычи до фабрики обогащения, времени транспортирования, наработанных моточасов агрегатов или пробега автомобилей и др. При этом продолжительность процесса перевозки железорудного сырья складывается из времени, затрачиваемого на выполнение погрузочно-разгрузочных работ, времени, затрачиваемом на движение автотранспорта, длительности простоев транспорта, оформления перевозочных документов и т.д.

На сегодняшний день на горно-обогатительных комбинатах применяются режимы ремонта агрегатов карьерных самосвалов с проведением капитального ремонта и с заменой их новыми. Для определения рационального периода эксплуатации автомобиля необходимо совершенствование существующих режимов ремонта двигателей карьерных автомобилей, что позволит обеспечить контроль за техническим состоянием транспорта, а также исправное функционирование узлов и агрегатов автомобилей и снизить затраты на проведение текущего и капитального ремонтов. Перспективными направлениями совершенствования существующих режимов ремонта ДВС карьерного автомобильного транспорта в настоящее время, когда в Российской Федерации наблюдаются ограничения с поставками запасных частей, является резервирование запасных частей, применение восстановленных деталей для ремонта двигателей, замена изношенных деталей двигателя восстановленными деталями, установление эффективной периодичности замены детали, а также применение эффективных способов обкатки двигателей [7, 8].

Теория / Расчет

Рациональный период эксплуатации автомобиля (РПЭ) – это период времени, в течение которого, экономически целесообразно эксплуатировать автомобиль. РПЭ определяет промежуток времени, в течение которого автомобиль способен удовлетворять нужды владельца с минимальными затратами на его эксплуатацию и приносить определённую сумму прибыли для предприятий.

В основу определения рационального периода эксплуатации входит учет периодичности проведения технического обслуживания и ремонта автомобилей. ТО-1 двигателя автомобиля БЕЛАЗ-75309 проводится каждые 250 мото-ч. ТО-2 производится через 500 мото-ч. Третье технического обслуживания двигателя MTU DD16V4000 наступает через 1000 наработанных мото-ч. Простои транспорта при проведении технического обслуживания могут достигать от 0,8 до 28 чел.ч. Планово-предупредительный ремонт (ППР) двигателя MTU DD16V4000 карьерного автомобиля БЕЛАЗ-75309, согласно рекомендациям завода-изготовителя, проводится ППР-1 – через 5 тыс. мото-ч, ППР-2 8 тыс. мото-ч. Текущий ремонт двигателя проводится по потребности между плановыми ТО. Капитальный ремонт проводится по мере выхода из строя агрегата (узла) или по завершению установленной нормы выработки агрегата (узла). Для двигателя MTU DD16V4000 ресурс, заложенный заводом-изготовителем, составляет 30 000 мото-ч. [9-11]. После наступления выработанного ресурса проводится капитальный ремонт двигателя или же замена его новым.

Согласно проведенным экономическим расчетам затраты на проведение капитального ремонта двигателя, учитывающие затраты на покупку запасных частей и потери прибыли от простоев, а также на покупку двигателя и работы по замене его новыми значительно высоки. При необоснованном длительном использовании автосамосвалов увеличиваются издержки предприятия на их эксплуатацию. В случае досрочной замены самосвалов это может привести к неэффективному управлению материальными потоками и дополнительным затратам предприя-

тия. Поэтому подтверждается целесообразность и необходимость определения рационального периода эксплуатации автомобиля, позволяющего максимально снизить потери прибыли и уменьшить вложения в восстановление утраченного ресурса двигателя автомобиля [12].

К показателям, влияющим на РПЭ, можно отнести:

- межсервисный интервал проведения обслуживания автомобиля;
- гарантийный срок автомобиля;
- установленный на основе опыта и рекомендаций срок эксплуатации самим владельцем;
- эксплуатационные затраты;
- техническое состояние автомобиля;
- возраст автомобиля;
- потеря товарной стоимости;
- личные потребности и предпочтения владельца;
- стоимость одного мото-ч наработки;
- учет запасных частей, расходных материалов, технических жидкостей;
- затраты на прости.

Для многих автотракторных управлений или авторемонтных служб предприятий определение рационального периода эксплуатации автомобилей является главной задачей. Каждое предприятие оценивает масштабы потерь прибыли, приносимой автомобилями. Так как работа карьерных самосвалов является одной из ключевых направлений получения прибыли ГОКа, то руководящее звено предприятия прилагает все усилия для обеспечения долговечности и работоспособности техники с целью осуществления транспортировки полезных ископаемых в производственные цеха [13].

Определение рационального периода эксплуатации карьерных самосвалов позволяет наладить взаимосвязь между объектами транспорта, осуществлять полноценный контроль за процессом перевозки сырья на каждом участке и за техническим состоянием большегрузной техники, вести необходимый сбор данных о местонахождении транспорта, производить корректирование графика и маршрута движения автотранспорта, выполнять наблюдение за состоянием водителя и перевозимого груза [14]. При выборе значения РПЭ автомобилей для горно-обогатительных комбинатов удастся достичь высокой эффективности в работе за счет сокращения объемов работы, потерь при эксплуатации автотранспорта, снижения материальных затрат и времени, затрачиваемого на перевозку, своевременного обнаружения неисправностей транспорта, осуществления бесперебойной работы техники и т.д.

При определении рационального периода эксплуатации автотранспорта необходимо также учитывать состояние и качество дорожного полотна, техническое состояние деталей, условия эксплуатации автомобилей, периодичность, объем и содержание ТО и ТР. Эксплуатационный срок автомобиля позволяет следить за динамикой изменения расходов и достигать экономической эффективности, определять целесообразность эксплуатации автомобиля, обеспечивать надежность и безопасность автомобиля, а также повышать экологическую безопасность и др. В течение установленного РПЭ автомобиль осуществляет свое функционирование с минимальными затратами на ТО и Р по сравнению с существующими режимами ремонта.

Срок эксплуатации автомобилей может быть увеличен за счет улучшения таких показателей как первоначальный ресурс, периодичность проведения ТО, а также его объем и содержание, качество проведения ТО и Р [15]. Для увеличения срока службы карьерных автомобилей в том числе рекомендуется следовать следующим правилам:

- соблюдать регламент и периодичность проведения ТО;
- осуществлять регулярный контроль за состоянием агрегатов и узлов автомобилей;
- при ТО и Р использовать качественные запасные части и материалы;
- проводить ТО и Р согласно установленному технологическому процессу;
- эксплуатировать автомобили с учетом правил и требований, установленных заводом-изготовителем.

Критериями определения рационального периода эксплуатации карьерных самосва-

лов являются:

- производительность карьерного самосвала при различных условиях эксплуатации;
- целесообразность эксплуатации с учетом себестоимости транспортировки железорудного сырья и затрат на осуществление транспортного процесса;
- техническое состояние карьерной техники.

Все критерии определения РПЭ карьерных автомобилей взаимосвязаны между собой. На производительность самосвалов непосредственно напрямую оказывает воздействие техническое состояние транспорта. При этом на техническое состояние транспорта влияют условия эксплуатации, которые определяют целесообразность использования техники. На горно-обогатительных комбинатах часто встречается снижение производительности автомобилей из-за условий эксплуатации и вследствие чего наблюдается снижение срока службы автомобилей.

Для определения рационального периода эксплуатации транспортных средств подразделения предприятий, занимающиеся научными исследованиями, а также внедрением инновационных разработок в процесс производства, должны учитывать режимы работы автотранспорта, статистические данные по выполнению каждой операции при транспортировке железорудного сырья, проводить исследования функционирования реальной системы перевозки сырья, а также разрабатывать рекомендации по ТО и Р автотранспорта и усовершенствовать технологические процессы их проведения и др.

Результаты

Для определения РПЭ карьерных автомобилей необходимо проведение расчетно-экспериментальных исследований значений ресурсов основных деталей двигателя. Для анализа факторов, влияющих на простои транспорта, учитываются такие составляющие как продолжительность работы самосвала, время простоев по техническим причинам (взрывные работы, отсутствие топлива и т.д.), продолжительность проведения ТО и Р, время простоев по организационным причинам (отсутствие водителей, нарушения работы диспетчеров и т.д.), время простоев из-за погодных условий [16]. Учет данных факторов ведется на каждом самосвале. На основе полученной информации производится оценка экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации карьерной техники.

Оценка технического состояния карьерного автомобиля БЕЛАЗ-75309 производится на основе:

- анализа технического состояния автомобиля по результатам осмотра и диагностики;
- анализа полученных данных в ходе диагностики в сравнении с предельно-допустимыми значениями [17, 18].

При определении рационального периода эксплуатации автомобилей учитываются фактическая и допустимая себестоимость транспортировки железорудного сырья карьерными самосвалами. Фактическая себестоимость транспортного процесса обеспечивается за счет соблюдения требований и правил технической эксплуатации автомобилей, позволяющих обеспечить их надежность. Допустимая себестоимость определяется разницей между рыночной ценой и получаемой прибылью. В случае превышения эксплуатационных расходов на обслуживание автомобиля допустимой себестоимости необходимо произвести его списание и заменить новым.

Затраты на эксплуатацию карьерных самосвалов складываются из затрат на владение транспортом (амортизация, налоги, страхование, лицензии и т.д.) и эксплуатационных расходов (затраты на ТО и Р, приобретение топливо-смазочных материалов и т.д.), что определяет рациональный период эксплуатации автомобилей.

Для определения рационального периода эксплуатации двигателя MTU DD16V4000 автомобиля БЕЛАЗ-75309 проводились экспериментальные, на горно-обогатительном комбинате с замером наработки деталей, и расчетные исследования с помощью метода вероятностной бумаги [19, 20]. Результаты полученной наработки деталей двигателя автомобиля БЕЛАЗ-75309 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Наработка деталей двигателя MTU DD16V4000

Наименование детали	Наработка, мото-часы
Гильзы цилиндров	22,5
Поршни в сборе	22,7
Коленчатый вал	30,7
Коренные вкладыши	30,7
Шатунные вкладыши	28,5
ГБЦ	41,0
Клапаны	41,7
Шатун	42,2
Распределительный вал	43,2
Блок цилиндров	42,7

Согласно полученным значениям, представленным в таблице 1, построен график зависимости ресурса двигателя от капиталовложений (рис. 2), который показывает, что ресурс, заложенный заводом-изготовителем, рассматриваемого двигателя будет выработан при наработке 30,0 тыс. мото-часов и далее наступит отказ.



Рисунок 2 - Зависимость ресурса двигателя от капиталовложений MTU DD16V4000 карьерного самосвала БЕЛАЗ-75309

Представленный выше график свидетельствует о том, что при регулярных капиталовложениях в ремонты и техническое обслуживание двигателя, в целях поддержания его исправного и работоспособного состояния рациональным режимом ремонта, наработка двигателя до полного окончания его ресурса составит 73,2 тыс. мото-ч.

Полученные данные в ходе теоретических, расчетных, в том числе экономических, экспериментальных исследований о наработке двигателя карьерного самосвала БЕЛАЗ-75309 позволили разработать эффективную периодичность проведения ремонта, представленную на рисунке 3.

Согласно представленной периодичности проведения ремонтов двигателя устанавливается рациональный период эксплуатации карьерных самосвалов БЕЛАЗ-75309. По существующим режимам ремонта двигателей на автотранспортных предприятиях, в авторемонтных цехах ГОКов предполагается при выполнении 30 тыс. мото-ч производить капитальный ремонт двигателя или его списание, заменяя новым. При использовании предлагаемого рационального режима ремонта, учитывающего наработки деталей двигателя, ресурс исследуемого двигателя увеличивается до 73,2 тыс. мото-ч. Предложенная периодичность проведения ре-

монта предполагает внесение изменений в планово-предупредительную систему, в которой до проведения капитального ремонта будут производиться 2 предупредительных ремонта [21]. В некоторых случаях возникает недоиспользование ресурса деталей, например, таких как шатунные вкладыши или распределительный вал, но при этом данные детали уже подлежат замене новыми [22]. Но рекомендуется замену производить именно при такой наработке, чтобы избежать значительных затрат, связанных с длительностью простоев в ремонте в дальнейшем. Данная структура учитывает такие параметры как наработку совмещенной замены деталей тыс. мото-ч, число совместно заменяемых деталей, шт., потерянный доход от простоя, тыс. руб., затраты на заработную плату труда рабочих, тыс. руб., потери от недоиспользования ресурса деталей двигателя тыс. руб., потери от числа разборочно-сборочных работ, тыс. руб., потери на ремонт, тыс. руб., коэффициент, учитывающий тип ремонтного предприятия, коэффициент, учитывающий наработку [23].



Рисунок 3 - Периодичность проведения ремонтов двигателей MTU DD16V4000 карьерного самосвала БЕЛАЗ-75309

Обсуждение

Разработанная периодичность проведения ремонтов двигателей MTU DD16V4000 карьерного самосвала БЕЛАЗ-75309 предполагает проведение планового технического обслуживания совместно с предупредительным ремонтом. Так, например, согласно проведенным исследованиям, при наработке 22,5 тыс. мото-ч производится ТО автомобиля по регламенту с установленным объемом и содержанием работ, а также предупредительный ремонт по замене гильзо-поршневой группы и шатунных вкладышей. При наработке 30,7 тыс. мото-ч проводится плановое ТО с заменой коленчатого вала, коренных и шатунных вкладышей. Замена или восстановление деталей такие как: блок цилиндров, распределительный вал, головка блока цилиндров, клапаны, шатуны, гильзы цилиндров, поршни в сборе, шатунные вкладыши производится совместно с ТО других частей агрегатов и узлов автомобиля при наработке 40,5 тыс. мото-ч. Повторная замена или по возможности восстановление коленчатого вала производится при наработке 55,2 тыс. мото-ч. Далее очередная замена гильз цилиндров и поршней в сборе осуществляется при наработке 63,0 тыс. мото-ч. Замена деталей при ремонте двигателя производится новыми или по возможности восстановленными. При наработке 73,2 тыс. мото-ч происходит списание ДВС. Согласно предложенному рациональному периоду эксплуатации карьерного самосвала по разработанной структуре и периодичности проведения ремонтов удастся увеличить срок службы двигателя более чем в 2 раза.

Предложенная периодичность проведения ремонтов двигателей карьерных самосвалов позволяет значительно снизить затраты на эксплуатацию автомобилей горно-обогатительных комбинатов. Благодаря введению предупредительных ремонтов, несмотря на, в некоторых случаях недоиспользование ресурса, удастся увеличить ресурс двигателя и уменьшить простои транспорта, связанные с капитальным ремонтом двигателя и заменой новым агрегатом.

Выводы

Увеличение ресурса ДВС и срока его службы до капитального ремонта, а также уменьшение общих потерь горно-обогатительных комбинатов, связанных с восстановлением работоспособности карьерного транспорта возможно за счет изменения режимов планово-

предупредительной системы ТО и Р, анализ которых дает возможность определить рациональный период эксплуатации автомобилей.

Результаты проведенных исследований, раскрытые в статье, позволили установить, что по разработанной структуре и периодичности проведения ремонтов удается увеличить срок службы двигателей MTU DD16V4000 карьерных самосвалов БЕЛАЗ-75309 более чем в 2 раза. Ресурс двигателя в сравнении с установленным заводом-изготовителем, увеличивается с 30,0 тыс. мото-ч до 73, 2 тыс. мото-ч.

Рациональный период эксплуатации автомобилей позволяет улучшить технико-эксплуатационные показатели ГОКов, а именно: коэффициенты использования парка и технической готовности предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. СПб.: Наука, 2004. 429 с.
2. Бачинский В.И., Кузминская Е.И. Использование элементов экономико-математического моделирования в управлении производственными затратами горно-обогатительных предприятий // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. 2013. №6. С. 197-201.
3. Лепетюха С.В., Якушев А.С. Состояние и перспективы развития технологического автотранспорта Лебединского ГОКа // Горный журнал. 2007. №7. С. 25-27.
4. Нестеренко А.В., Разгулов С.А., Берестнев Е.Ю., Никулин А.А. Ремонтная служба комбината // Горный журнал. 2017. №5. С. 42-45.
5. Тариков Д.Ш., Корнилов С.Н. Анализ производственной деятельности горнодобывающего предприятия и разработка методики оптимизации транспортно – грузового комплекса // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2012. Т. 1. С. 96-99.
6. Рахмангулов А.Н., Гавришев С.Е., Грязнов М.В. [и др.]. Управление развитием горнодобывающего предприятия. Информационные модели и методы: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 245 с.
7. Гавришев С.Е. Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьеров: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 231 с.;
8. Семькина А.С., Загородний Н.А., Новиков А.Н. Замена изношенных элементов восстановленными на карьерных АТС // Автомобильная промышленность. 2022. №2. С. 31-34.
9. Карьерная техника ПО «БЕЛАЗ»: Справочник / Под ред. П.Л. Мариева, К.Ю. Анистратова. М.: ООО «КА технокомплект», 2005. 448 с.
10. Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке. СПб.: Наука, 2006. 387 с.
11. Васильева А.В., Старостин Е.С. Перспективы использования карьерного транспорта в горной промышленности / Ответственные редакторы: А.О. Глико, А.А. Барях, К.В. Лобанов, И.Н. Болотов // Глобальные проблемы Арктики и Антарктики: Сборник научных материалов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения акад. Николая Павловича Лавёрова. 2020. С. 640-644.
12. Насковец А.М., Пархомчик П.А., Егоров А.Н., Шишко С.А., Моисеенко В.И. Современное развитие карьерного транспорта производства ОАО «БЕЛАЗ» // Актуальные вопросы машиноведения. 2018. Т. 7. С. 8-11.
13. Новиков А.Н., Новиков И.А., Загородний Н.А., Семькина А.С. Разработка научно-методических подходов для повышения эффективности карьерного транспорта // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2020. Т. 17. №6(76). С. 690-703.
14. Семькина А.С., Загородний Н.А. Совершенствование транспортной системы горно-обогатительных комбинатов // Автомобильная промышленность. 2019. №6. С. 31-34.
15. Зырянов И.В. Методы повышения надежности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации. СПб., 2003. 120 с.
16. Петров В.Л., Гончаренко С.Н., Парсегов А.С. Моделирование рисков возникновения простоев и аварийных ситуаций технологического оборудования горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. №12. С. 283-292.
17. Шатерников В.С. Проблемы совершенствования организации ремонтного обслуживания двигателей карьерных большегрузных автомобилей-самосвалов / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: Материалы 3-ей Международной научно-практической конференции. 2013. С. 144-152.
18. Дрыгин М.Ю., Курьшин Н.П. Диагностика состояния тяжелой горной техники при планово-предупредительных ремонтах // Динамика систем, механизмов и машин. 2017. Т. 5. №2. С. 115-122.
19. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Konev A.A., Duganova E.V. Aspects of transport system management within mining complex using information and telecommunication systems // Journal of Physics: Conference Series Serp.

«International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 - Enterprise Information Systems». 2018. С. 042064.

20. Semykina A.S., Zagorodnii N.A., Novikov I.A., Novikov A.N. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North // Transportation Research Procedia. Vol. 57. 2021. P. 611-616.

21. Корчагин В.А., Шатерников В.С., Шатерников М.В. Определение оптимальной стратегии ремонтного обслуживания двигателя ЯМЗ-240Н // Автотранспортное предприятие. 2014. №10. С. 3539.

22. Яковлев В.Л., Столяров В.Ф., Глебов А.В. Методы исследований карьерного транспорта: из XX в XXI век // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2006. №1. С. 115-123.

23. Анистратов К.Ю., Градусов М.С., Стремиллов В.Я., Тетерин М.В. Экономико-математическая модель функционирования предприятия технологического карьерного транспорта // Горная промышленность. 2007. №1. С. 20-26.

Семыкина Алла Сергеевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., старший преподаватель кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: fantarock@mail.ru

Загородний Николай Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

A.S. SEMYKINA, N.A. ZAGORODNY

DETERMINATION OF THE RATIONAL PERIOD OF OPERATION OF QUARRY MOTOR TRANSPORT

Abstract. The paper considers the main measures aimed at determining the rational period of operation of quarry road transport. It is established that when using the developed structure for carrying out repairs with effective frequency, volume and content of work, the operational life of cars increases, which makes it possible to achieve maximum efficiency of technical operation of quarry equipment for mining and processing plants and reduce transport downtime during repair.

Keywords: quarry motor transport, quarry dump truck, operation of quarry vehicles, the period of operation of quarry motor transport, repair of quarry vehicles, failures and malfunctions of engines of quarry vehicles

BIBLIOGRAPHY

1. Mariev P.L., Kuleshov A.A., Egorov A.N., Zyryanov I.V. Kar'ernyy avtotransport: sostoyanie i perspektivy. SPb.: Nauka, 2004. 429 s.

2. Bachinskiy V.I., Kuzminskaya E.I. Ispol'zovanie elementov ekonomiko-matematicheskogo moderirovaniya v upravlenii proizvodstvennymi zatratami gorno-obogatitel'nykh predpriyatiy // Ekonomika i upravlenie: analiz tendentsiy i perspektiv razvitiya. 2013. №6. S. 197-201.

3. Lepetyukha S.V., Yakushev A.S. Sostoyanie i perspektivy razvitiya tekhnologicheskogo avtotransporta Lebedinskogo GOKa // Gornyy zhurnal. 2007. №7. S. 25-27.

4. Nesterenko A.V., Razgulov S.A., Berestnev E.Yu., Nikulin A.A. Remontnaya sluzhba kombinata // Gornyy zhurnal. 2017. №5. S. 42-45.

5. Tarikov D.Sh., Kornilov S.N. Analiz proizvodstvennoy deyatelnosti gornodobyvayushchego predpriyatiya i razrabotka metodiki optimizatsii transportno - gruzovogo kompleksa // Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya. Magnitogorsk: Magnitogorsk. gos. tekhn. un-t im. G.I. Nosova, 2012. T. 1. S. 96-99.

6. Rakhmangulov A.N., Gavrishov S.E., Gryaznov M.V. [i dr.]. Upravlenie razvitiem gornodobyvayushchego predpriyatiya. Informatsionnye modeli i metody: monografiya. Magnitogorsk: MGTU, 2002. 245 s.

7. Gavrishov S.E. Organizatsionno-tekhnologicheskie metody povysheniya nadezhnosti i effektivnosti raboty kar'erov: monografiya. Magnitogorsk: MGTU, 2002. 231 s.;

8. Semykina A.S., Zagorodnii N.A., Novikov A.N. Zamena iznoshennykh elementov vosstanovlennymi na kar'ernykh ATS // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2022. №2. S. 31-34.

9. Kar'ernaya tekhnika PO «BELAZ»: Spravochnik / Pod red. P.L. Marieva, K.Yu. Anistratova. M.: OOO «KA tekhnokomplekt», 2005. 448 s.
10. Mariev P.L., Kuleshov A.A., Egorov A.N., Zyryanov I.V. Kar'ernyy avtotransport stran SNG v XXI veke. SPb.: Nauka, 2006. 387 s.
11. Vasil'eva A.V., Starostin E.S. Perspektivy ispol'zovaniya kar'ernogo transporta v gornoy promyshlennosti / Otvetstvennye redaktery: A.O. Gliko, A.A. Baryakh, K.V. Lobanov, I.N. Bolotov // Global'nye problemy Arktiki i Antarktiki: Sbornik nauchnykh materialov Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 90-letiyu so dnya rozhdeniya akad. Nikolaya Pavlovicha Laviorova. 2020. S. 640-644.
12. Naskovets A.M., Parkhomchik P.A., Egorov A.N., Shishko S.A., Moiseenko V.I. Sovremennoe razvitie kar'ernogo transporta proizvodstva OAO «BELAZ» // Aktual'nye voprosy mashinovedeniya. 2018. T. 7. S. 8-11.
13. Novikov A.N., Novikov I.A., Zagorodniy N.A., Semykina A.S. Razrabotka nauchno-metodicheskikh podkhodov dlya povysheniya effektivnosti kar'ernogo transporta // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2020. T. 17. №6(76). S. 690-703.
14. Semykina A.S., Zagorodniy N.A. Sovershenstvovanie transportnoy sistemy gorno-obogatitel'nykh kombinatov // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2019. №6. S. 31-34.
15. Zyryanov I.V. Metody povysheniya nadezhnosti sistem kar'ernogo avtotransporta v ekstremal'nykh usloviyakh ekspluatatsii. SPb., 2003. 120 s.
16. Petrov V.L., Goncharenko S.N., Parsegov A.S. Modelirovanie riskov vozniknoveniya prostoev i aviariynykh situatsiy tekhnologicheskogo oborudovaniya gornyykh predpriyatiy // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2012. №12. S. 283-292.
17. Shaternikov V.S. Problemy sovershenstvovaniya organizatsii remontnogo obsluzhivaniya dvigateley kar'ernyykh bol'shegruznykh avtomobiley-samosvalov / Pod obshchey redaktsiei A.N. Novikova // Aktual'nye voprosy innovatsionnogo razvitiya transportnogo kompleksa: Materialy 3-ey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2013. S. 144-152.
18. Drygin M.Yu., Kuryshkin N.P. Diagnostika sostoyaniya tyazheloy gornoy tekhniki pri planovopredupreditel'nykh remontakh // Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin. 2017. T. 5. №2. S. 115-122.
19. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Konev A.A., Duganova E.V. Aspects of transport system management within mining complex using information and telecommunication systems // Journal of Physics: Conference Series Ser. «International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 - Enterprise Information Systems». 2018. S. 042064.
20. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Novikov I.A., Novikov A.N. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North // Transportation Research Procedia. Vol. 57. 2021. P. 611-616.
21. Korchagin V.A., Shaternikov V.S., Shaternikov M.V. Opredelenie optimal'noy strategii remontnogo obsluzhivaniya dvigatelya YAMZ-240N // Avtotransportnoe predpriyatie. 2014. №10. S. 3539.
22. Yakovlev V.L., Stolyarov V.F., Glebov A.V. Metody issledovaniy kar'ernogo transporta: iz XX v XXI vek // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal. 2006. №1. S. 115-123.
23. Anistratov K.Yu., Gradusov M.S., Stremilov V.Ya., Teterin M.V. Ekonomiko-matematicheskaya model' funktsionirovaniya predpriyatiya tekhnologicheskogo kar'ernogo transporta // Gornaya promyshlennost'. 2007. №1. S. 20-26.

Semykina Alla Sergeevna

Belgorod State Technological University
Address: Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46
Candidate of technical science
E-mail: fantarock@mail.ru

Zagorodny Nikolay Alexandrovich

Belgorod State Technological University
Address: Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46
Candidate of technical science
E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-99-106

А.А. ВЛАСОВ, В.В. КОНОВАЛОВ, Р.Ю. КОНДАКОВ, М.С. МЕЛЬНИКОВ

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТОРОВ СРЕДСТВАМИ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Приведен анализ методов решения проблем транспортных заторов, в том числе подходов к оперативному управлению распределением транспортных потоков средствами информирования пользователей и светофорного регулирования с целью предотвращения транспортных заторов и минимизации их последствий. Рассмотрена методика балансировки транспортного спроса и пропускной способности сети со светофорным регулированием и результаты ее применения на примере г. Пензы. Показан положительный эффект от ее применения и необходимость комплексного подхода к решению проблемы транспортных заторов.

Ключевые слова: светофорный объект, транспортный поток, пропускная способность, транспортный спрос, балансировка, городские агломерации, интеллектуальные транспортные системы

Введение

Процесс урбанизации, протекающий во всем мире способствует разрастанию городских территорий и формированию городских агломераций. Городские агломерации объединяют территории, функциональность и различные ресурсы, что позволяет более эффективно их использовать, создавая предпосылки для экономического роста территорий.

Процесс урбанизации способствует автомобилизации населения – рост городских территорий, сопровождаемый увеличением количества и протяженности поездок, стимулирует приобретение автомобилей населением. Урбанизация и сопутствующая ей автомобилизация населения порождают интенсивное дорожное движение, перегруженность улично-дорожной сети ставя вопрос дальнейшего развития транспортной инфраструктуры в ряд наиболее актуальных тем [1, 2].

Материал и методы решения проблем транспортных заторов в городских агломерациях. Транспортные заторы могут иметь как стохастическую причину возникновения (дорожно-транспортное происшествие, дорожные работы, аномальное изменение погодных условий и т.д.) так и системную – превышение транспортным спросом пропускной способности улично-дорожной сети. В последнем случае транспортные заторы систематически возникают на одних и тех же участках. В мировой практике накоплен значительный опыт разработки и реализации мероприятий, направленных на решение проблемы систематических транспортных заторов. Можно выделить следующие направления деятельности [3-6]:

- развитие улично-дорожной сети, реконструкция существующих и строительство новых дорог и транспортных развязок;
- рациональное планирование территории, направленное на сокращение потребности в передвижении [1, 3, 4];
- управление мобильностью населения, направленное на создание условий для отказа от использования индивидуального транспорта в пользу общественного [3, 4, 10, 11];
- оперативное управление распределением транспортных потоков средствами информирования пользователей и светофорного регулирования с целью предотвращения транспортных заторов и минимизации их последствий [7-9, 17].

В отечественной литературе и дискуссиях экспертного сообщества в последнее время сложилось мнение, что единственным способом ликвидации транспортных заторов является рациональное планирование территории и управление мобильностью населения, развивая общественный транспорт и создавая приоритетные условия движения для него. Безусловно,

данные направления деятельности очень важны, но игнорирование задач по сбалансированному развитию улично-дорожной сети не позволит решить проблем транспортных задач, либо их стоимость окажется не приемлемой для бюджета города. Кроме того, следует учитывать фактор времени – реновации в планировании застройки территории, развитие улично-дорожной сети и мероприятия по управлению мобильности требуют значительного временных затрат для получения эффекта.

Обратимся к менее популярному направлению решения проблемы систематических транспортных заторов – управлению светофорными объектами с целью перераспределения транспортных потоков и минимизации их последствий. В работе [18] проведен достаточно подробный анализ используемых подходов к управлению светофорными объектами в условиях насыщенного движения и высокого риска возникновения транспортных заторов:

- экспертное задание работы светофорных объектов, основанное на знаниях и опыте транспортного инженера;
- в системах, оптимизирующих управление установкой штрафа для решений, содержащих риск возникновения затора;
- нормирование объемов движения для магистральных направлений, обеспечивающий баланс транспортного спроса и пропускной способности участка автомагистрали или улично-дорожной сети города.

Развитие автоматизированных системы управления дорожным движением, их интеграция с системами контроля и управления общественным транспортом, информирования участников движения привела к трансформации в интеллектуальные транспортные системы [12-15]. Интеллектуальные транспортные системы позволяют повысить эффективность использования имеющейся транспортной инфраструктуры, при этом следует учитывать, что данное качественное изменение систем управления не в состоянии увеличить пропускную способность автомобильных дорог и пересечений [16]. Закономерным решением снижения риска возникновения заторов является своевременное ограничение количества транспорта, прибывающего в опасное сечение сети.

Методика балансировки транспортного спроса и пропускной способности сети со светофорным регулированием. Методика управления насыщенными транспортными потоками, обеспечивающая балансировки транспортного спроса и пропускной способности была сформулирована в работах [16-20]. Решение базируется на положении о том, что причиной образования систематических транспортных заторов является возникновение остаточных очередей на подходе к пересечению и вследствие превышения количества вошедших в связь автомобилей числа ее покинувших q_u^{arriv} (рис. 1).

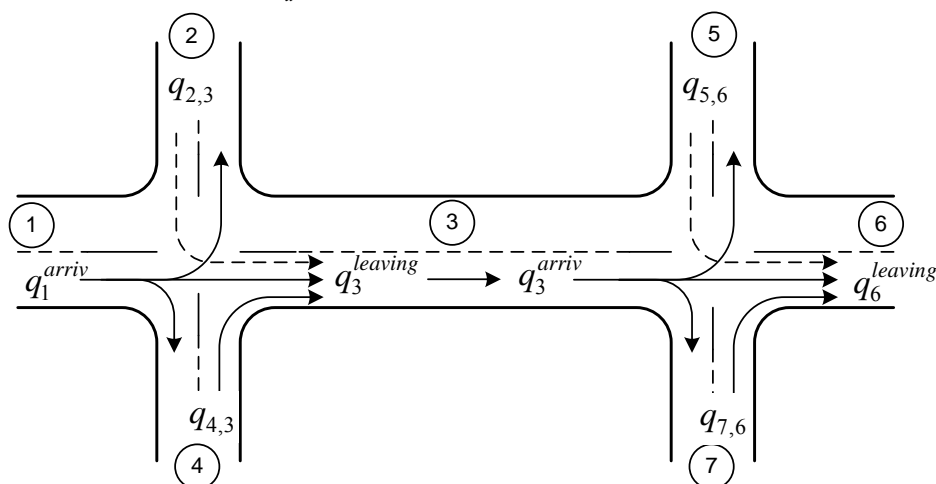


Рисунок 1 – Формирование потоков в транспортной сети

Математическая модель, описывающая состояние транспортной сети базируется на преобразовании входящих в пересечение транспортных потоков q_a^{arriv} в исходящие $q_b^{leaving}$ в

соответствии со следующим выражением:

$$q_a^{arriv} = \sum \beta_{a,b} q_a^{arriv}, \quad (1)$$

где $\beta_{a,b}$ – доля входящего потока q_a^{arriv} , движущегося со связи a на связь b , $\sum \beta_{a,b} = 1.0$.

Интенсивность движения на исходящей с перекрестка связи b определяется как сумма поворотных потоков на нее:

$$q_b^{leaving} = \sum_a \beta_{a,b} q_a^{arriv}. \quad (2)$$

Управляющее воздействие в виде сигналов светофоров оказывает активное воздействие на количество проезжающих через перекресток автомобилей. Интенсивность исходящего с управляемого пересечения потока определяется следующим выражением:

$$q_b^{leaving} = \sum_a \min \left(\beta_{a,b} q_a^{arriv}, \frac{c_a \cdot g_{n,a}}{T_n} \right), \quad (3)$$

где c_a – поток насыщения связи a ;

$g_{n,a}$ – длительность разрешающего сигнала на связи a пересечения $n \in N$;

T_n – длительность светофорного цикла на пересечении n .

Задача оптимального управления светофорными объектами, обеспечивающая балансировку транспортного спроса и предложения в пределах отдельной зоны транспортной сети сформулирована как задача максимизации пропускной способности:

$$\sum_j q_j^{arriv} (t + n \cdot k_s) \rightarrow \max, \quad (4)$$

при ограничениях:

$$q_{j^{pr}}^{leaving} (t + n \cdot k_s) - q_{j^{pr}}^{arriv} (t + n \cdot k_s) \leq 0; \quad (5)$$

$$g_{\min} \leq g(t + n \cdot k_s) \leq g_{\max}, \quad (6)$$

где $\sum_j q_j^{arriv} (t + n \cdot k_s)$ – суммарная интенсивность отъезда в районе управления, $j \in J$;

$(t + n \cdot k_s)$ – управляющие воздействия (множество длительностей сигналов управления на светофорных объектах);

$q_{j^{pr}}^{leaving} (t + n \cdot k_s)$ – интенсивность входящих в транспортную связь транспортных потоков;

$q_{j^{pr}}^{arriv} (t + n \cdot k_s)$ – интенсивность исходящих с транспортной связи транспортных потоков;

g_{\max} , g_{\min} – соответственно верхние и нижние ограничения на длительность сигналов управления.

Результаты и обсуждение

Результаты применения методики балансировки транспортного спроса и пропускной способности при оптимизации режимов работы светофорных объектов на примере г. Пенза. Описанная выше методика применена при расчёте режимов работы светофорных объектов по ул. Терновского г. Пензы. На данном участке улично-дорожной сети, являющийся юго-восточным въездом в г. Пензу, систематически формировались транспортные заторы в утренние часы. Ситуация осложнялась наличием только двух полноценных выездов на ул. Терновского с территории микрорайона Спутник. Несмотря на предпринимаемые меры по локальному уширению проезжей части и выделения поворотных полос для транспорта, следующего в направлении указанного микрорайона транспортная обстановка оставалась крайне напряженной.

В 2023 году в рамках создания интеллектуальной транспортной системы Пензенской городской агломерации ГБУ «Безопасный регион» было установлено оборудование интеллектуальной транспортной системы.

Анализ параметров транспортных потоков, получаемых с микроволновых детекторов транспорта, позволил выявить время и причину образования транспортных заторов.

Так же было выявлено сечение, позволяющее контролировать транспортную ситуацию по улице. На рисунке 2 приведен график изменения интенсивности движения по 15 минутным интервалам и средняя скорость транспортного потока на момент проведения обследования.

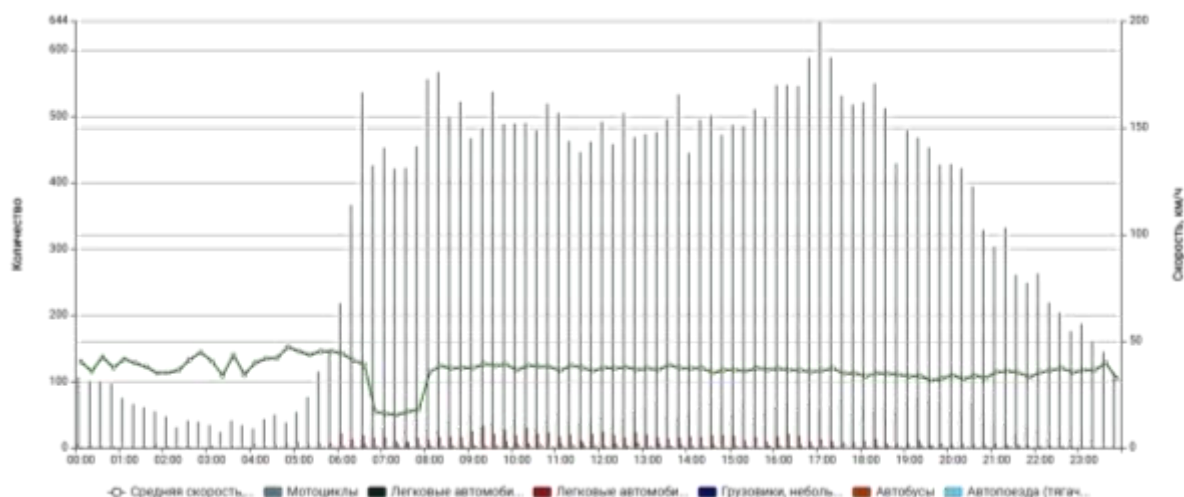


Рисунок 2 – Параметры транспортного потока в контрольном сечении по ул. Терновского в г. Пензе 02.11.2023 г.

Наблюдалось систематическое блокирование транспортной сети последующим по ходу движения пересечением со светофорным регулированием с 6:00 до 8:15. В указанный период происходило снижение скорости транспортного потока до 15-12 км/ч и падение интенсивности движения до 420 авт./15 мин.

Локальное изменение режимов работы светофорных объектов, проводимое ранее, не позволяло решить проблему формирования транспортного затора. Была выполнена оптимизация режимов работы светофорных объектов по всей ул. Терновского в соответствии с постановкой задачи управления, определяемая выражениями (4-6).

На рисунке 3 приведены результаты мониторинга параметров транспортных потоков после применения рассчитанной программы регулирования. Следует отметить отсутствие «провала» скорости движения, характерного до применения рассчитанной программы регулирования и увеличение интенсивности движения на 100 авт./15мин в сравнении с аналогичным контрольным периодом.

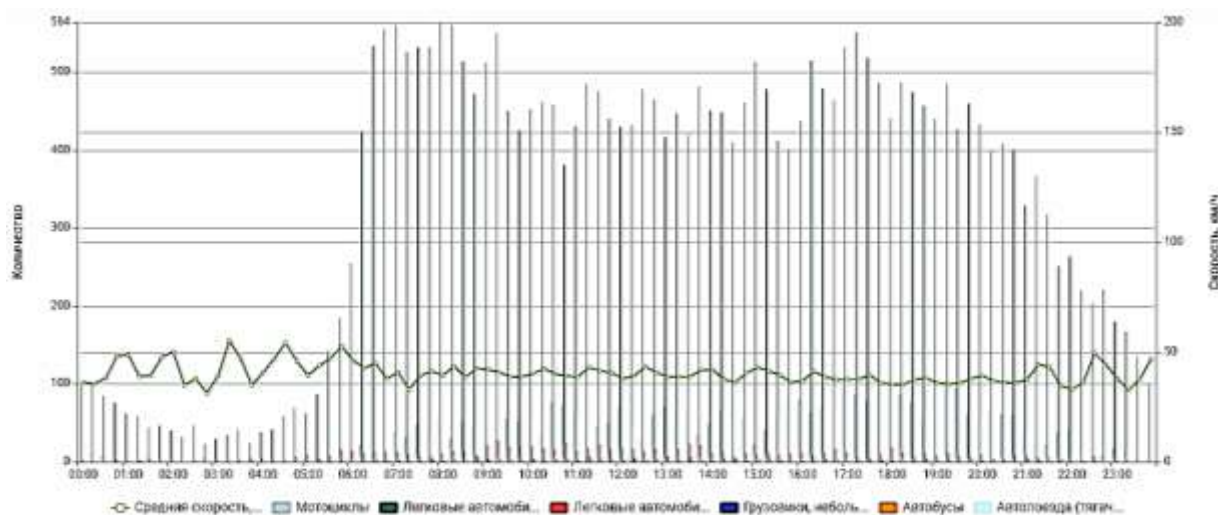


Рисунок 3 – Параметры транспортного потока в контрольном сечении по ул. Терновского в г. Пензе 13.03.2024 г.

Проводимый в дальнейшем мониторинг ситуации показал существенное изменение в транспортной активности населения (рис. 4). Обозначилась тенденция более позднего выезда на работу в связи с улучшением условий движения, что привело к формированию систематического транспортного затора в период с 7:15 до 7:45.

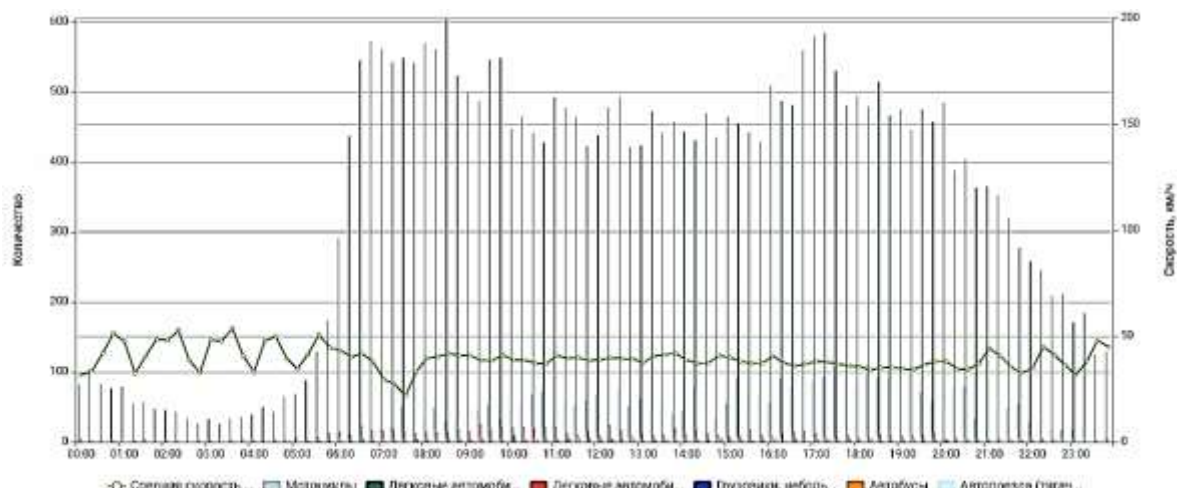


Рисунок 4 – Параметры транспортного потока в контрольном сечении по ул. Терновского в г. Пензе 19.03.2024 г.

Повторная оптимизация режимов работы светофорных объектов, учитывающая изменения в интенсивности движения, позволила обеспечить движение по ул. Терновского без образования систематических транспортных заторов (рис. 5). При этом интенсивность движения в час пик возросла до 600 – 640 авт./15 мин.

Несмотря на полученный положительный эффект от использования применения методики балансировки транспортного спроса и пропускной способности при оптимизации режимов работы светофорных объектов полностью решить проблему не удалось – остались затруднения с выездом транспорта на ул. Терновского с микрорайона Спутник. Причинами, не позволяющими решить данную проблему являются:

- наличие нерегулируемых пешеходных переходов, которые в условиях насыщенного движения являются источниками затруднения движения;
- недостаточная длина полос уширения перед пересечениями. В период пиковой загрузки наблюдается блокирование доступа к дополнительным полосам, что существенно снижает пропускную способность.

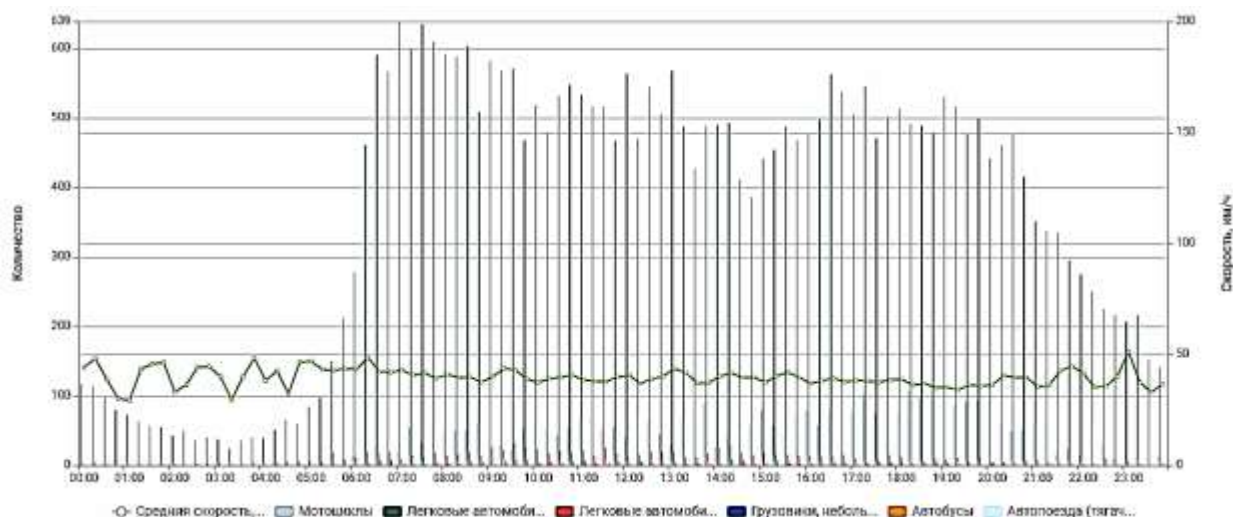


Рисунок 5 – Параметры транспортного потока в контрольном сечении по ул. Терновского в г. Пензе 15.04.2024 г.

Выводы

Решение проблем систематических транспортных заторов является актуальной задачей управления транспортной системой агломерации. Требуется комплексный подход, совмещающий мероприятия по развитию улично-дорожной сети, рационального планирования территории, управление мобильностью населения и применение методов балансировки транспортного спроса и пропускной способности при оперативном управлении распределением транспортных потоков средствами информирования пользователей и светофорным регулированием. Только при таком подходе возможно обеспечить функционирование транспортных систем агломераций без перегрузки и возникновения систематических транспортных заторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Городское планирование и транспортное поведение в Российской Федерации / Под общ. ред. В.В. Донченко. М.: КнигИздат, 2022. 240 с.
2. Петрова А.В. Транспортный аспект развития современных городских агломераций [Электронный ресурс]. URL: <https://na-journal.ru/8-2023-ekonomika-menedzhment/6271-transportnyi-aspekt-razvitiya-sovremennyh-gorodskih-aglomeracii>
3. Вучик Вукан Р. Транспорт в городах, удобных для жизни; пер. с англ. Александра Калинина, под науч. ред. Михаила Блинкина. Москва: Территория будущего, 2011. 574 с.
4. Ботвиньева Я.Е., Донченко В.В. Управление заторами в городах // OECD, European conference of ministers of transport, Центр транспортных исследований. Санкт-Петербург: Коста, 2020. 335 с.
5. Корнев А.В., Шабуров С.С. Транспортные заторы. Варианты решения проблемы // Молодежный вестник ИрГТУ. 2021. Т. 11. №1. С. 58-63.
6. Морозов В.В., Ярков С.А. Проблема транспортных заторов и существующие методы решения // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием). 2014. С. 83-89.
7. Ляпин С.А., Кадасев Д.А., Кадасева И.М. Управление светофорной сигнализацией на перекрестке города в условиях транспортного затора // Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление: Сборник научных трудов II международной научно-практической конференции. 2018. С. 69-72.
8. Николаева Р.В., Юсупкина Ю.Н. Управление доступом въезда на автомагистрали [Электронный ресурс] / Техника и технология транспорта. 2021. №4(23). С. 12. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N23-12ODD421.pdf>
9. Власов А.А., Горелов А.М. Координированное управление въездами на автомагистраль // Интернет-журнал Науковедение. 2014. №2(21). С. 100.
10. Щербаков В.В., Шульженко Т.Г. Логистические приоритеты развития системы транспортной мобильности населения городской агломерации // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2023. №6-2(144). С. 114-122.
11. Данилина М.Г., Флягина Т.А. Мобильность населения как приоритетный фактор развития транспортного комплекса России // Транспортное дело России. 2023. №6. С. 171-174.
12. Евстигнеев И.А. Основы создания интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях России. М.: Перо. 2021. 294 с.
13. Солодкий А.И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России: проблемы и пути их решения. Новый этап // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. №6. С. 10-19. DOI 10.25198/2077-7175-2020-6-10.
14. Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы. Пути развития / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2016. С. 3-9.
15. Власов А.А. Концепция цифрового двойника как основа создания интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-2(78). С. 56-62.
16. Власов А.А., Коновалов В.В. Математическое обеспечение подсистемы светофорного управления интеллектуальной транспортной системы // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-3(82). С. 68-74.
17. Vlasov A. Features of Calculation of Traffic Light Control Modes in the Conditions of Intensive Road Traffic // Organization and Traffic Safety Management in large cities: 12th International Conference. SPbOTSIC-2016, St. Petersburg. Vol. 20. 2017. P. 676-682.
18. Власов А.А., Орлов Н.А. Управление насыщенными транспортными потоками в городах: монография. Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014. 187 с.
19. Власов А.А. Модели транспортного потока в задачах управления движением в городских условиях

// Транспортное планирование и моделирование: Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2019. С. 55-61.

20. Пильгейкина И.А., Власов А.А., Скорикова И.А. Совершенствование методики проектирования режимов работы светофорных объектов // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Евразийское сотрудничество: сборник материалов XV международной научно-практической конференции. Оренбург: ОГУ. 2020. С. 472-481.

Власов Алексей Александрович

ГБУ «Безопасный регион»

Адрес: 440031, Россия, г. Пенза, ул. Окружная, 3Б

К.т.н., заместитель директора – начальник отдела создания и развития интеллектуальной транспортной системы

E-mail: vlasov_a71@mail.ru

Коновалов Владимир Викторович

Пензенский государственный технологический университет

Адрес: 440039, Пензенская область, город Пенза, ул. Байдукова проезд/Гагарина ул, д. 1а/11

Д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения»

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Кондаков Роман Юрьевич

ГБУ «Безопасный регион»

Адрес: 440031, Россия, г. Пенза, ул. Окружная, 3Б

Аспирант, инженер отдела создания и развития интеллектуальной транспортной системы

E-mail: romakondakov99@mail.ru

Мельников Михаил Сергеевич

СОРБ ИНЖИНИРИНГ

Адрес: 127051, Россия, г. Москва, ул. Неглинная, д. 29

К.т.н, руководитель группы разработки программного обеспечения

E-mail: m.melnikov@sorb-group.ru

A.A. VLASOV, V.V. KONOVALOV, R.Yu. KONDAKOV, M.S. MEL'NIKOV

THE CONCEPT OF A DIGITAL TWIN AS THE BASIS OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Abstract. The analysis of methods for solving the problem of traffic congestion, including approaches to operational management of the distribution of traffic flows by means of informing users and traffic light regulation in order to prevent traffic congestion and minimize their consequences, is presented. The method of balancing transport demand and network capacity with traffic light regulation and the results of its application on the example of Penza are considered. The positive effect of its application and the need for an integrated approach to solving the problem of traffic congestion are shown..

Keywords: traffic light object, traffic flow, capacity, transport demand, balancing, urban agglomerations, intelligent transport systems

BIBLIOGRAPHY

1. Gorodskoe planirovanie i transportnoe povedenie v Rossiyskoy Federatsii / Pod obshch. red. V.V. Donchenko. M.: KnigIzdat, 2022. 240 s.
2. Petrova A.V. Transportnyy aspekt razvitiya sovremennykh gorodskikh aglomeratsiy [Elektronnyy resurs]. URL: <https://na-journal.ru/8-2023-ekonomika-menedzhment/6271-transportnyi-aspekt-razvitiya-sovremennyh-gorodskih-aglomeratsiy>
3. Vuchik Vukan R. Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni; per. s angl. Aleksandra Kalinina, pod nauch. red. Mikhaila Blinkina. Moskva: Territoriya budushchego, 2011. 574 s.
4. Botvin'eva Ya.E., Donchenko V.V. Upravlenie zatorami v gorodakh // OECD, European conference of ministers of transport, Tsentr transportnykh issledovaniy. Sankt-Peterburg: Kosta, 2020. 335 s.
5. Kornev A.V., Shaburov S.S. Transportnye zatory. Varianty resheniya problemy // Molodezhnyy vestnik IrGTU. 2021. T. 11. №1. S. 58-63.

6. Morozov V.V., YArkov S.A. Problema transportnykh zatorov i sushchestvuyushchie metody resheniya // Pro-blemy funktsionirovaniya sistem transporta: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchionykh (s mezhdunarodnym uchastiem). 2014. S. 83-89.
7. Lyapin S.A., Kadasev D.A., Kadaseva I.M. Upravlenie svetofornoy signalizatsiei na perekrestke go-roda v usloviyakh transportnogo zatora // Transport i logistika: innovatsionnaya infrastruktura, intellektu-al'nye i resursos-beregayushchie tekhnologii, ekonomika i upravlenie: Sbornik nauchnykh trudov II mezhdunarod-noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2018. S. 69-72.
8. Nikolaeva R.V., Yusupkina Yu.N. Upravlenie dostupom v"ezda na avtomagistrali [Elektronnyy resurs] / Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2021. №4(23). S. 12. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N23-12ODD421.pdf>
9. Vlasov A.A., Gorelov A.M. Koordinirovannoe upravlenie v"ezdami na avtomagistral' // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2014. №2(21). S. 100.
10. Shcherbakov V.V., Shul'zhenko T.G. Logisticheskie priority razvitiya sistemy transportnoy mobil'nosti naseleniya gorodskoy aglomeratsii // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. 2023. №6-2(144). S. 114-122.
11. Danilina M.G., Flyagina T.A. Mobil'nost' naseleniya kak prioritytnyy faktor razvitiya transportnogo kompleksa Rossii // Transportnoe delo Rossii. 2023. №6. S. 171-174.
12. Evstigneev I.A. Osnovy sozdaniya intellektual'nykh transportnykh sistem v gorodskikh aglomeratsiyakh Rossii. M.: Pero. 2021. 294 s.
13. Solodkiy A.I. Razvitie intellektual'nykh transportnykh sistem v Rossii: problemy i puti ikh resheniya. Novyy etap // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2020. №6. S. 10-19. DOI 10.25198/2077-7175-2020-6-10.
14. Zhankaziev S.V. Intellektual'nye transportnye sistemy. Puti razvitiya / Pod obshchey redaktsiei A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva. 2016. S. 3-9.
15. Vlasov A.A. Kontsepsiya tsifrovogo dvoynika kak osnova sozdaniya intellektual'nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-2(78). S. 56-62.
16. Vlasov A.A., Konovalov V.V. Matematicheskoe obespechenie podsistemy svetofornogo upravleniya intellektual'noy transportnoy sistemy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-3(82). S. 68-74.
17. Vlasov A. Features of Calculation of Traffic Light Control Modes in the Conditions of Intensive Road Traffic // Organization and Traffic Safety Management in large cities: 12th International Conference. SPbOTSIC-2016, St. Petersburg. Vol. 20. 2017. P. 676-682.
18. Vlasov A.A., Orlov N.A. Upravlenie nasyschennymi transportnymi potokami v gorodakh: monogra-fiya. Penza: Penzenskiy gosudarstvennyy universitet arkhitektury i stroitel'stva, 2014. 187 s.
19. Vlasov A.A. Modeli transportnogo potoka v zadachakh upravleniya dvizheniem v gorodskikh usloviyakh // Transportnoe planirovanie i modelirovanie: Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. 2019. S. 55-61.
20. Pil'geykina I.A., Vlasov A.A., Skorikova I.A. Sovershenstvovanie metodiki proektirovaniya rezhimov raboty svetofornykh ob'ektov // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Evraziyskoe sotrudnichestvo: sbornik materialov XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orenburg: OGU. 2020. S. 472-481.

Vlasov Aleksej Aleksandrovich

GBU «Safe Region»

Address: 440031, Russia, Penza, Okruzhnaya str., 3B

Candidate of technical sciences

E-mail: vlasov_a71@mail.ru

Konovalov Vladimir Viktorovich

Penza state technological University

Address: 440039, Russia, Penza, BaydukovProyezd / Gagarin str., 1a/11

Doctor of technical sciences

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Kondakov Roman Yur'evich

GBU «Safe Region»

Address: 440031, Russia, Penza, Okruzhnaya str., 3B

Postgraduate student

E-mail: romakondakov99@mail.ru

Melnikov Mikhail Sergeevich

SORB ENGINEERING

Address: 127051, Russia, Moscow, st. Neglinaya, 29

Candidate of technical machines

Email: m.melnikov@sorb-group.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-107-112

И.Е. ИЛЬИНА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ БДД С УЧЕТОМ ЦЕЛЕВОЙ ГРУППЫ ВОДИТЕЛЕЙ

Аннотация. Предметом исследования является возможность повышения безопасности дорожного движения (БДД) за счет подготовки водителей с учетом его целевой группы. Представлены статистические данные аварийности в РФ с участием водителей разных целевых групп за 2022 год по данным платформы свободного доступа. Представлен обобщенный результат анализа работ ученых по тематике повышения безопасности дорожного движения за счет изучения поведения и действий водителей. Для повышения уровня БДД использованы обучающие методы с учетом целевой группы водителей и подтверждена их эффективность.

Ключевые слова: уровень безопасности дорожного движения, водитель, подготовка водителя, эффективность подготовки водителя

Введение

Понятие «водитель» закрепляет Федеральный закон №196-ФЗ и Постановление Правительства №1090. На их основании сформированы целевые группы водителей:

- водители механических ТС (водители автомобилей, мотоциклов, трамваев, троллейбусов, тракторов и т.п.);
- водители немеханических ТС (водители велосипедов, средств индивидуальной мобильности, гужевых повозок, саней и т.п.);
- иные водители (обучающий вождению, погонщики, ведущие по дороге вьючных, верховых животных или стадо)

Стоит отметить, что количество ДТП с участием водителей разных целевых групп неодинаково по регионам РФ [1, 2] и соответственно отличаются по показателям их характеризующим в разные годы.

На рисунке 1 представлены ДТП по вине водителей механических транспортных средств за 2022 год по данным платформы gibdd.ru и аналитических данных [3].

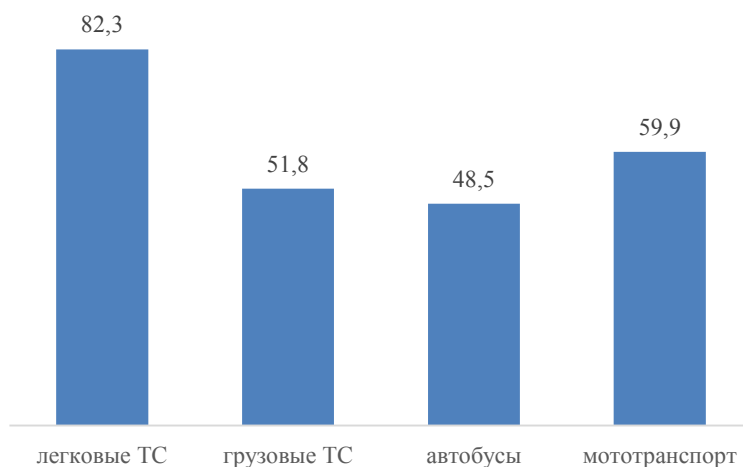


Рисунок 1 – Распределение коэффициента виновности водителей по видам транспорта

Распределение коэффициента виновности водителей по видам транспорта показывает, что наибольшее значение имеют водители легкового транспорта, они являлись виновными в 82,3 % из всех ДТП с их участием.

Водители мототранспорта являлись виновными в совершении более половины (59,9 %) происшествий с их участием, водители грузовых ТС и автобусов – 51,8 и 48,5 % соответственно (рис. 1).

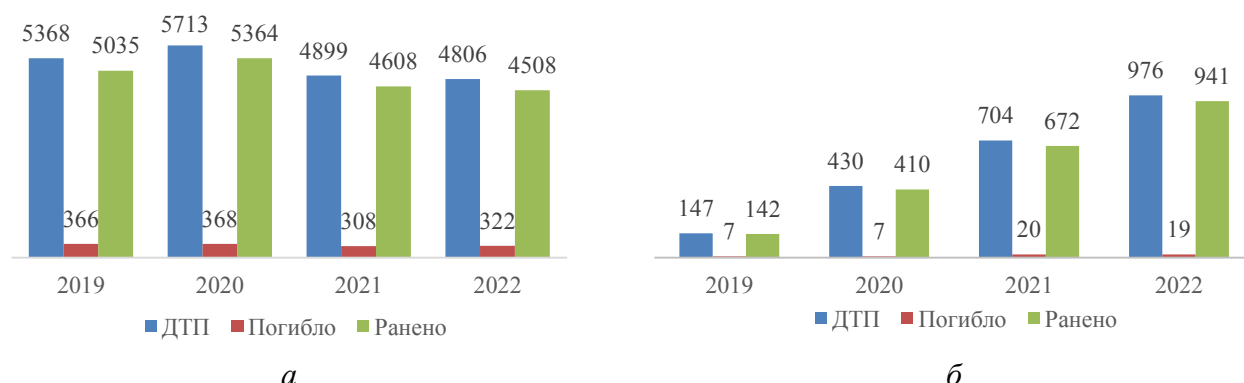


Рисунок 2 – Показатели аварийности с участием водителей немеханических ТС:
 а - велосипедов, б - средств индивидуальной мобильности

В 2022 году произошло увеличение на 40% (941) ДТП с участием СИМ, в результате которого погибли 19 (-5 %) человек и получили ранения 976 (+38,6 %) человек (рис. 2) [3]. Количество ДТП с участием велосипедистов снизилось на 2 % (4806), при этом погибли 322 (+4,5 %) и получили ранения 4508 (-2,2 %) велосипедистов (рис. 2). Доля таких происшествий среди всех ДТП составила 3,8 %. Тяжесть последствий данных ДТП составила 6,7. Рост всех основных показателей аварийности с пострадавшими велосипедистами произошел в 14 субъектах [3].

Значения показателей аварийности зависят от большого количества факторов – протяженности дорог с асфальтированным покрытием, уровня автомобилизации, погодноклиматических условий и т.д. Но анализ статистических данных аварийности показал, что не всегда наблюдается четкая пропорциональная зависимость уровня безопасности дорожного движения от указанных факторов.

В связи с этим целесообразно проведение мероприятий, влияющих на повышение уровня БДД, при этом необходимо учитывать целевую группу водителей, а также параметры, определяющие их подготовленность. Данные исследования необходимы в части реализации Распоряжения Правительства РФ от 08.01.2018 № 1-р, где основным направлением является совершенствование подготовки водителей.

Теоретическим вопросам роли надёжности водителей в предотвращении ДТП и её оценке, особенностям влияния человеческого фактора на БДД и подготовке дисциплинированного водителя посвящены труды отечественных ученых И.Е. Агуреева, В.Н. Баскова, Т.Ю. Григорьевой, П.А. Кравченко, Е.В. Куракиной, Е.М. Олещенко, А.Н. Романова, Ю.В. Трофименко и др. [4-15] Анализ представленных ими положений позволяет сделать вывод, что учёт целевой группы (водитель механического и немеханического ТС) и параметров, обуславливающих подготовленность водителей, не рассматривается.

Цель исследования – определить эффективность мероприятий по повышению БДД с учетом целевой группы водителей в рамках реализации стратегии БДД.

Материалы и методы

Изучение существующих методов повышения БДД учитывающих поведение водителя позволило выявить следующие: метод определения риска попадания водителя в ДТП на основании вероятности несовместимых событий [16], метод определения количества опасных ситуаций на основании мониторинга поведения водителя с помощью мобильного приложения [17], метод тестирования водителей [18, 19].

В настоящее время автор проводит разработку и апробацию методов повышения БДД и инструментальных средств прогнозирования ДТП путем автоматического анализа большо-

го объема данных о водителях разных целевых групп для поиска закономерностей, а также взаимосвязей между показателями надежности водителей и ДТП. В статье предлагается метод повышения БДД за счет подготовки водителей разных целевых групп, в том числе водителей СИМ и мототранспорта с последующей оценкой эффективности их подготовки.

Теория / Расчет

При разработке метода подготовки водителей должно учитываться, что дополнительная подготовка водителей должна осуществляться при лишении прав управления ТС в установленных законом случаях (управление ТС и передача управления ТС водителю в состоянии алкогольного опьянения, отказ от медосвидетельствования, нарушение скоростного режима, выезд на встречную полосу, эксплуатация ТС при отсутствии регистрационных знаков, неправильное обращение со световыми приборами, предусмотренными конструкцией ТС, нарушение правил перевозки крупногабаритных грузов, а также при повторном нарушении какого либо пункта ПДД). Разделение уровня знаний на «достаточные» и «неудовлетворительные» проводится с помощью установки пороговых значений в соответствии с общепринятыми в РФ. Чем выше устанавливается пороговое значение показателя, тем компетентнее водитель, тем потенциально выше влияние знаний на снижение вероятности совершения им ДТП [18].

На первом этапе посредством анализа карточек ДТП, визуального наблюдения и тестирования водителей выявлены наиболее часто совершаемые нарушения ПДД водителями разных целевых групп.

На втором этапе по разработанным программам, базам практических заданий проведены обучающие занятия для каждой целевой группы водителей с учетом выявленных нарушений и проведена оценка уровня знаний.

Экспериментальные исследования проводились в рамках выполнения НИР на предприятиях г. Пензы. Для оценки эффективности использовался показатель – количество совершенных ДТП «до» и «после» подготовки на 100 водителей организации. Оценка эффективности мероприятий, проведенных в соответствии с разработанной методикой учитывающей целевую группу водителей, после их реализации осуществляется на основе сопоставления наблюдаемого уровня аварийности до проведения подготовки водителей соответствующей целевой группы с уровнем аварийности после их проведения.

Результаты

Повышение уровня знаний достигало в ряде случаев 50 %. Так, среди водителей немеханических транспортных средств повышение уровня знаний составило от 25 до 40 %, среди водителей СИМ – от 30 до 50 %, среди водителей механических ТС – от 10 до 30 %.

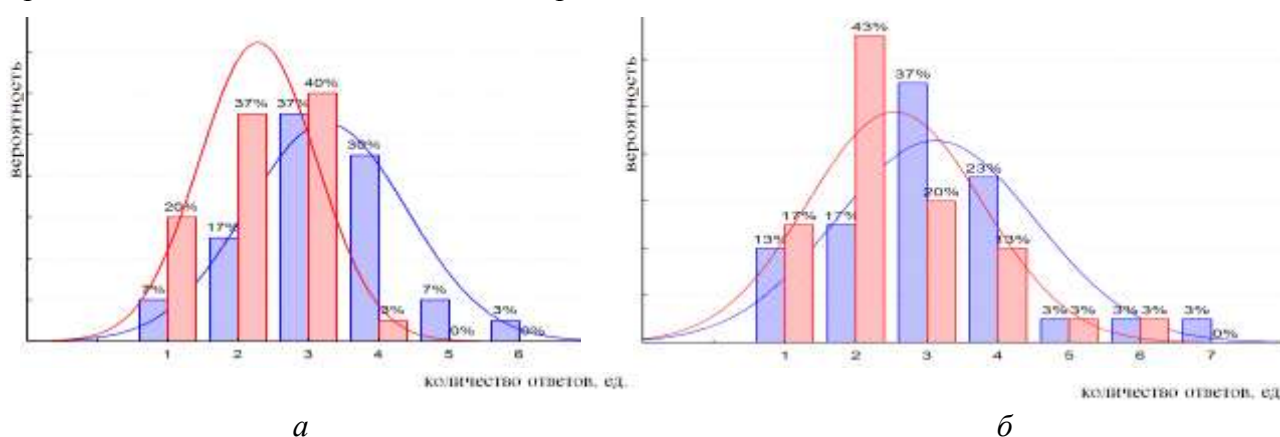


Рисунок 3– Сравнительный анализ результатов тестирования водителей: а - водители механических ТС; б - водители немеханических ТС ; красная линия – входной контроль, синяя линия– итоговый контроль

В таблице 1 приведены показатели аварийности в четырех организациях до проведения в них мероприятий по подготовке водителей различного возраста и стажа управления ТС (2015, 2016, 2017 г.г.), и после реализации данного мероприятия (2018, 2019, 2020 г.г.).

По полученным значениям строится график в координатах x – y и проводится из начала координат биссектриса (рис. 4). Длина осей, равная разности максимальных и минимальных

значений x и y , по вертикали и горизонтали должна быть примерно одинаковой. Расположение точек показывает наличие и характер связи между двумя переменными (количество ДТП в организациях «до» и «после» проведения мероприятия). Если все точки ложатся на биссектрису, следовательно, значения данного параметра не изменились в процессе проведения мероприятий и, соответственно, они не влияют на уровень БДД. Если основная масса точек лежит под биссектрисой, следовательно, количество ДТП за прошедшее время уменьшились. Если же точки ложатся выше биссектрисы, то количество ДТП за рассматриваемое время возросло. Проведя лучи из начала координат, соответствующие уменьшению (увеличению) параметра на 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60% путем подсчета точек между прямыми можно выяснить частоту значений результативности мер в интервалах 0 %–20 %, 20 %–40 % и т. д.

Таблица 1 – Исходные данные для оценки эффективности мероприятий. Пример

№ п/п	«До» подготовки			«После» подготовки			Эффективность, %
	Кол-во водителей, чел.	Кол-во ДТП, ед.	ДТП на 100 водителей	Кол-во водителей, чел.	Кол-во ДТП, ед.	ДТП на 100 водителей	
1	34	5	0,15	43	5	0,11	26,5
2	45	4	0,09	44	3	0,07	30,4
3	36	6	0,17	38	5	0,13	26,7
4	90	17	0,19	103	15	0,14	29,7

Как показывает анализ диаграммы на рисунке 4 во всех организациях, где проводились исследования, мероприятия по подготовке водителей с учетом целевой группы, показали свою эффективность в сокращении количества ДТП (рис. 4).

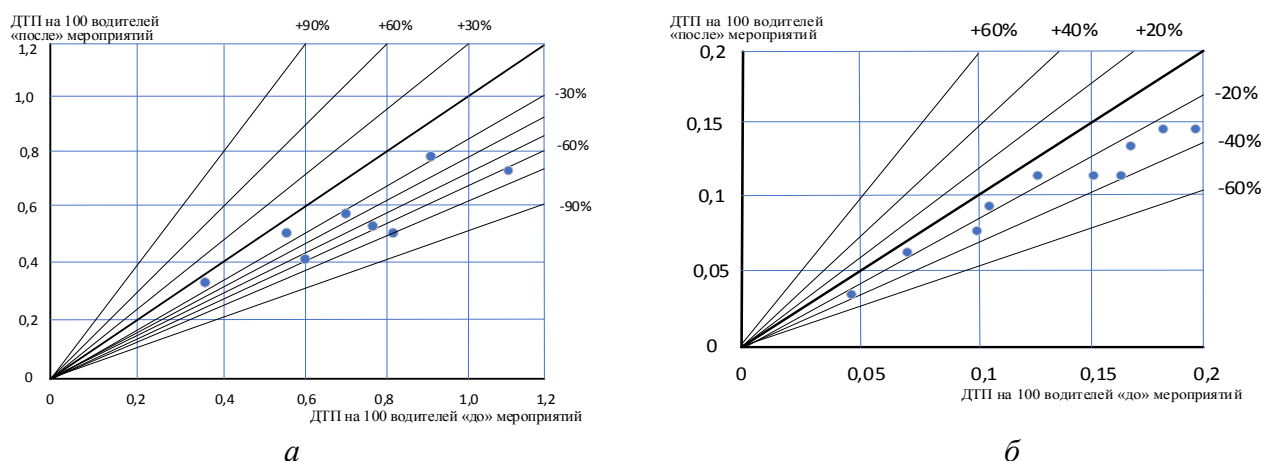


Рисунок 4 – Диаграмма результатов эффективности проведенных мероприятий с учетом целевой группы водителей: а - водители со стажем более 2-х лет, б - возраст более 35 лет

Размах эффективности мероприятий достигал в ряде случаев 70%, отрицательных результатов не наблюдалось. Так, результатом проведенных мероприятий в предприятиях г. Пензы стало снижение количества ДТП от 10 % до 70 % водителями со стажем управления более 2-х лет и от 5 % до 49 % водителями в возрасте от 35 лет.

Обсуждение

Повышение БДД является приоритетной задачей государства. Одним из направлений решения задачи является совершенствование подготовки водителей транспортных средств. На поведение водителя и его возможность предотвращения ДТП влияет достаточно большое количество факторов. При планировании мероприятий по повышению БДД необходимо учитывать данные, характеризующие не только дорожные, погодные, временные условия, но и данные человеческого фактора – возраст, стаж, пол, гражданство и др. Вышеуказанные параметры человеческого фактора обуславливают его надежность. В настоящее время увеличивается количество водителей управляющих немеханическим транспортным средством – велосипедом, средством индивидуальной мобильности. Увеличиваются абсолютные и отно-

сительные показатели аварийности с участием таких водителей. Исследования по повышению БДД с учетом целевой группы водителей и показателей их характеризующих являются актуальными и соответствуют направлению реализации Стратегии БДД на 2018 – 2024 годы.

Выводы

Использование предложенного метода подготовки водителей с учетом их целевой группы позволит выявить темы, по которым имеются недостаточные (неудовлетворительные) знания по БДД, а также повысить уровень знаний с учетом целевой группы водителей, например, водителей СИМ, велосипедов, мототранспорта. Повышение БДД от 5 % до 70 % на предприятиях города в результате проведенных экспериментальных исследований является доказательством эффективности данного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А.Н., Еремин С.В., Ломакин Д.О. Оценка уровня безопасности дорожного движения на региональном уровне // *Мир транспорта и технологических машин*. 2020. №3(70). С. 72-79.
2. Ильина И.Е., Витвицкий Е.Е. Методология стратификации субъектов РФ по состоянию безопасности дорожного движения // *Мир транспорта и технологических машин*. 2022. №3(78). С. 76-82.
3. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2022 год: Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России». 2023. 150 с.
4. Кравченко П.А., Олещенко Е.М. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации // *Транспорт Российской Федерации*. 2018. №2(75). С. 14-18.
5. Трофименко Ю.В., Шашина Е.В. Влияние человеческого фактора на обеспечение безопасности дорожного движения // *Безопасность жизнедеятельности*. 2016. №1(181). С. 24-27.
6. Рекомендации по управлению мобильностью / под научной редакцией д.т.н. профессора Ю.В. Трофименко. СПб.: Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2020. 120 с.
7. Куракина Е.В. Безопасное поведение водителей автотранспортных средств с целью снижения ДТП (на примере Санкт-Петербурга и Ленинградской области) // *Вестник Тувинского государственного университета. Социальные и гуманитарные науки*. 2014. №1(20). С. 148-155.
8. Коломеец А.А., Куракина, Е.В. Возможности совершенствования обеспечения автоматизированного управления при подготовке водителей транспортных средств // *Вестник гражданских инженеров*. 2021. №2(85). С. 215-221.
9. Басков В.Н., Игнатов А.В. Количественная и качественная оценка надежности водителя // *Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий: сб. науч. тр. по материалам XIV междунар. науч.-техн. конф.* – 2018. С. 49-53.
10. Романов А.Н. Автотранспортная психология. М.: Издательский центр «Академия», 2002. 224 с.
11. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Подходы к формализации понятия транспортного поведения населения городских агломераций // *Интеллект. Инновации. Инвестиции/Intellect. Innovations. Investments*. №2. 2021. С. 60-70.
12. Григорьева Т.Ю., Трофименко Ю.В., Шашина Е.В. Методика обоснования мер по снижению аварий в системе «водитель - автомобиль - дорога - среда» // *Безопасность в техносфере*. 2012. №3. С. 30-37.
13. Дрогачева Я.А., Новиков И.А., Лазарев Д.А. Безопасное применение гироскутеров, сигвеев, электросамокатов и иных современных средств передвижения // *Магистратура - автотранспортной отрасли: материалы V Всероссийской межвузовской конференции*. Санкт-Петербург, 2021. С. 232-237.
14. Кравченко А.А., Новиков И.А., Загородний Н.А., Кущенко С.В. Актуальный подход к оценке уровня безопасности дорожного движения в рамках реализации национального проекта «Безопасные качественные дороги» // *Мир транспорта и технологических машин*. 2023. №3-2(82). С. 44-51.
15. Новиков А.Н., Новиков И.А., Лазарев Д.А., Загородний Н.А. Комплексный подход к определению механизма дорожно-транспортного происшествия // *Мир транспорта и технологических машин*. 2022. №3-3(78). С. 60-67.
16. Дементенко В.В., Герус С.В. Статистический анализ предрасположенности водителей к авариям // *Нелинейный мир*. 2010. Т. 8. №4. С. 255-263.
17. Лашков И.Б. Определение опасных состояний водителя транспортного средства на основе информации устройств носимой электроники // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2021, Т. 21. №4.
18. Ильина И.Е., Титова Е.И., Кротова Д.А. Определение согласованности оценок по результатам тестирования водителей // *Мир транспорта и технологических машин*. 2014. №4(47). С. 131-138.
19. Ильина И.Е., Юмаева А.А., Бахтеев Н.Р., Серова О.М. Проблемы подготовки водителей категории «В» и пути их решения // *Мир транспорта и технологических машин*. 2012. №2(37). С. 117-122.

Ильина Ирина Евгеньевна

Пензенский государственный аграрный университет
Адрес: 440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30
К.т.н., доцент кафедры технический сервис машин
E-mail: iie.1978@yandex.ru

I.E. ILYINA

THE EFFECTIVENESS OF MEASURES TO IMPROVE ROAD SAFETY, TAKING INTO ACCOUNT THE TARGET GROUP OF DRIVERS IN THE FRAMEWORK OF THE IMPLEMENTATION OF THE ROAD SAFETY STRATEGY

Abstract. The subject of the study is the possibility of improving road safety through driver training, taking into account its target group. Statistical data on accidents in the Russian Federation with the participation of drivers of different target groups for 2022 according to the free access platform are presented. The generalized result of the analysis of the works of scientists on the topic of improving road safety by studying the behavior and actions of drivers is presented. To improve road safety, training methods were used taking into account the target group of drivers and their effectiveness was confirmed.

Keywords: road safety level, driver, driver training, driver training efficiency

BIBLIOGRAPHY

1. Novikov A.N., Eremin S.V., Lomakin D.O. Otsenka urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na regional'nom urovne // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №3(70). S. 72-79.
2. Il'ina I.E., Vitvitskiy E.E. Metodologiya stratifikatsii sub"ektov RF po sostoyaniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3(78). S. 76-82.
3. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii za 2022 god: Informatsionno-analiticheskiy obzor. M.: FKU «NTS BDD MVD Rossii». 2023. 150 s.
4. Kravchenko P.A., Oleshchenko E.M. Sistemnyy podkhod v upravlenii bezopasnost'yu dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2018. №2(75). S. 14-18.
5. Trofimenko Yu.V., Shashina E.V. Vliyanie chelovecheskogo faktora na obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2016. №1(181). S. 24-27.
6. Rekomendatsii po upravleniyu mobil'nost'yu / pod nauchnoy redaktsiei d.t.n. professora Yu.V. Trofimenko. SPb.: Izdatel'sko-poligraficheskaya kompaniya «KOSTA», 2020. 120 s.
7. Kurakina E.V. Bezopasnoe povedenie voditeley avtotransportnykh sredstv s tsel'yu snizheniya DTP (na primere Sankt-Peterburga i Leningradskoy oblasti) // Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Sotsial'nye i gumanitarnye nauki. 2014. №1(20). S. 148-155.
8. Kolomeets A.A., Kurakina, E.V. Vozmozhnosti sovershenstvovaniya obespecheniya avtomatizirovannogo upravleniya pri podgotovke voditeley transportnykh sredstv // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2021. №2(85). S. 215-221.
9. Baskov V.N., Ignatov A.V. Kolichestvennaya i kachestvennaya otsenka nadezhnosti voditelya // Sovershenstvovanie avtotransportnykh sistem i servisnykh tekhnologiy: sb. nauch. tr. po materialam XIV mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. - 2018. S. 49-53.
10. Romanov A.N. Avtotransportnaya psikhologiya. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2002. 224 s.
11. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Podkhody k formalizatsii ponyatiya transportnogo povedeniya naseleeniya gorodskikh aglomeratsiy // Intellekt. Innovatsii/Intellect. Innovations. Investments. №2. 2021. S. 60-70.
12. Grigor'eva T.Yu., Trofimenko Yu.V., Shashina E.V. Metodika obosnovaniya mer po snizheniyu avariynosti v sisteme «voditel' - avtomobil' - doroga – sreda» // Bezopasnost' v tekhnosfere. 2012. №3. S. 30-37.
13. Drogacheva Ya.A., Novikov I.A., Lazarev D.A. Bezopasnoe primeneniye giroskuterov, sigveev, elektro-samokatov i inyykh sovremennykh sredstv peredvizheniya // Magistratura - avtotransportnoy otrasli: materialy V Vserossiyskoy mezhvuzovskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 2021. S. 232-237.
14. Kravchenko A.A., Novikov I.A., Zagorodniy N.A., Kushchenko S.V. Aktual'nyy podkhod k otsenke urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v ramkakh realizatsii natsional'nogo proekta «Bezopasnye kachestvennyye dorogi» // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-2(82). S. 44-51.
15. Novikov A.N., Novikov I.A., Lazarev D.A., Zagorodniy N.A. Kompleksnyy podkhod k opredeleniyu mekhanizma dorozhno-transportnogo proisshestviya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-3(78). S. 60-67.
16. Dementienko V.V., Gerus S.V. Statisticheskiy analiz predraspolzhenosti voditeley k avariyam // Nelineynyy mir. 2010. T. 8. №4. S. 255-263.
17. Lashkov I.B. Opredeleniye opasnykh sostoyaniy voditelya transportnogo sredstva na osnove informatsii ustroystv nosimoy elektroniki // Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. 2021, T. 21. №4.
18. Il'ina I.E., Titova E.I., Krotova D.A. Opredeleniye soglasovannosti otsenok po rezul'tatam testirovaniya voditeley // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2014. №4(47). S. 131-138.
19. Il'ina I.E., YUmaeva A.A., Bakhteev N.R., Serova O.M. Problemy podgotovki voditeley kategorii «V» i puti ikh resheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2012. №2(37). S. 117-122.

Irina Irina Evgenievna

Penza State Agrarian University

Address: 440014, Russia, Penza, Botanicheskaya str., 30

Candidate of technical sciences

E-mail: iie.1978@yandex.ru

Научная статья
УДК 656.131:343.983.25
doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-113-118

И.С. БРЫЛЕВ, Я.В. ВАСИЛЬЕВ, С.А. ЕВТЮКОВ

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДМТС НА ПРИМЕРЕ МОТОЦИКЛА

Аннотация. В статье изложено общее композиционное решение по формированию цифрового двойника (ЦД) двухколесного механического транспортного средства (ДМТС) на примере мотоцикла, реализованного на базе универсального полимодельного комплекса, дано структурно-функциональное описание ЦД ДМТС и приведены перспективы его дальнейшего применения.

Ключевые слова: дорожно-транспортная экспертиза, экспертная профилактика, мотоцикл, реконструкция механизма ДТП, пассивная безопасность, цифровой двойник, дорожно-транспортное происшествие

Введение

При наличии все возрастающего объема публикаций посвященных разработке, внедрению и применению цифровых двойников транспортных средств (ТС), среди которых преобладают ТС категорий М1 и М3, аналогичные работы применительно к ДМТС весьма малочисленны. Следует признать, что в ходе наблюдаемой эволюции серийных ТС, эксплуатируемых ныне к высокоавтоматизированным ТС (ВАТС), на настоящий момент все еще относимых к долгосрочным перспективам развития отрасли, ДМТС практически не попадают в указанный эволюционный процесс, оставаясь обособленной ветвью развития, которая относительно недавно получила некоторые из систем пассивной безопасности, которые уже давно эксплуатируются на легковом автотранспорте. Минимальность механической связи от водителя к органам управления на ДМТС, сильная зависимость устойчивости ДМТС от положения массы водителя и условий перемещения, а также прямая зависимость между комфортностью движения ДМТС, в целом безопасностью дорожного движения при нахождении на сети ДМТС и обусловленными психотипом водителя манерой управления. Которая основанная на получении не только базовой потребности на перемещение по дорожной сети (и вне нее, например – для кроссовых мотоциклов), но и на более глубоких потребностях водителя ДМТС в самореализации, самоутверждении и во многих случаях потребности в индивидуализации через противопоставление своих действий (воспринимаемых часто такими водителями ДМТС как «свобода») общей структуре и требованиям безопасности потока ТС на сети. Все перечисленное в совокупности сильно усложняет процесс перехода (эволюции) от ДМТС к ВАТС на данном виде транспорта.

Таким образом, формирование подхода к формированию ЦД ДМТС представляет собой весьма перспективное направление для научных и прикладных разработок.

Материал и методы

Имеющийся объем публикаций, посвященных разработке отдельных моделей ДМТС и его систем управления представленный в таких работах как [1-13] преимущественно направлен на частные решения, обобщающий инструментарий в большинстве публикаций на настоящий момент не нашел какого-либо конкретного решения по построению ЦД ДМТС.

В частности, в своем большинстве на настоящий момент преобладают исследования направленные на разработку систем помощи водителю [1-4], систем стабилизации движения [5-7] и систем торможения мотоциклов [8-13]. При этом даже с учетом общих положений перехода к модельно-ориентированной реконструкции механизма ДТП по [14] использование конечно-элементных моделей, а также оболочечных и гибридных антропоморфных макетов [10-13], на которые в большинстве своем опираются в 21-ом веке такие исследования, в реальной практике экспертами сильно ограничено.

Кроме того, следует отметить, что имеющийся объем публикаций в целом направленных на разработку цифровых двойников носит или весьма общий характер, либо направлен преимущественно ТС категории М1.

Разработке цифровых двойников ДМТС в свою очередь посвящено крайне мало работ и все они обладают общей чертой: наследование принципов построения цифровой модели ТС от автомобильного транспорта, без учета особенностей эксплуатации ДМТС, а также без детализации особенностей систем управления устойчивостью и торможением на ДМТС.

С другой стороны, следует обратить внимание, что разработка ЦД ДМТС также ограничивается отсутствием универсального программного решения позволившего бы объединить в единой среде возможности мультифизических расчетов, использующих различные методы вычислений, средств оптимизации систем, а также средств интеграции в промышленный интернет вещей, блочно-модельных библиотечных систем компонентов и много другого. В связи с тем что, универсальный полимодельный комплекс (УПМК) в рамках данных исследований выполнялся на базе Matlab/Simulink/Simscape, авторским коллективом было принято решение по интеграции УПМК с мультифизическими расчетами на базе Ansys.

Теория

Ракурс на исследование опасных и аварийных дорожно-транспортных ситуаций (ДТС) в контексте выполняемых авторским коллективом параллельных работ по исследованию систем управления ДМТС, а также по разработке мер по повышению пассивной безопасности (ПБ) ДМТС и по обеспечению БДД в одноранговых взаимодействиях систем ВАДС – ВДТМСДС (Водитель–Автомобиль–Дорога–Среда – Водитель–ДМТС–Дорога–Среда) и ВААТ – Интеллектуальная транспортная система (ИТС) – ДМТСДС, позволил выделить 28 типовых сценария сближения для различных ДТС, что определило подход к структуре УПМК включающего модели удара (столкновения, наезда, опрокидывания) связанные с оценкой травмирования водителя ДМТС, по индексам травмирования AIS, ASI, NIC.

В этом этапе исследований УПМК, формировавшиеся в указанном ракурсе на проблемную область высокого уровня смертности в ДТП с участием ДМТС, позволял существенно расширить арсенал слоя дорожно-транспортной экспертизы (ДТЭ) по ДТП с участием ДМТС. Необходимость перехода к вышеуказанным слоям: экспертной профилактики (ЭП) ДТП с участием ДМТС и к слою ПБ и ОБДД при продолжении исследований, определила необходимость получения эксплуатационных данных с ДМТС, особенно для оценки точки не возврата (момента времени в ДТС с которого сближение ТС и ДМТС означает их контактно-следовое взаимодействие) и оценки времени прогнозируемого разъезда в ДТС. В более широком взгляде на вышеуказанные слои, УПМК должен был получить возможность интеграции с киберфизическими интерфейсами (КФИ) на ДМТС, а также иметь возможность увязки с данными ИТС, цифровой моделью (ЦМ) дороги (сети дорог). Данные три слоя: ДТЭ, ЭП ДТП, ПБ и ОБДД определили архитектуру УПМК как иерархической системы с параллельными информационными потоками, связанными в одноранговых запросах.

В этой связи рассмотрение интеграции к КФИ по объему и скорости передачи данных, позволило обосновать ось дальнейшего развития в одноранговых взаимодействиях систем ВАДС – ВДТМСДС и ВААТ-ИТС – ДМТСДС. На рисунке 1 показана концепция эволюции от частных моделей (ЧМ) к ЦД ДМТС через создание УПМК по мере роста объема подключений к КФИ на ДМТС и в интеллектуальной транспортной системе, в границах которой осуществляется эксплуатация ДМТС. С позиций производства дорожно-транспортной экспертизы при полном переходе к модельно-ориентированной реконструкции (МОР) механизма ДТП по [14] ее результаты сильнее интегрируются с экспертной профилактикой ДТП и разработкой средств пассивной безопасности ДМТС, на базе формирования виртуальных полигонов, которые при размещении в них ЦД ДМТС формируют цифровую мультиплатформу, обеспечивающую безопасность дорожного движения.

На базе ранее созданного авторским коллективом УПМК, используемого преимущественно для задач проведения ДТЭ при МОР ДТП с участием ДМТС, формальное занимающее промежуточное место между разрозненными моделями движения/перемещений ДМТС в различных состояниях системы ВАДС и ЦД, было разработано комплексное решение, обеспечивающее накопление и обработку эксплуатационных данных с ДМТС, передачу данных по высокоскоростным каналам связи от объекта, прогнозирование изменений перемещения при оценке опасных дорожно-транспортных ситуаций (по расчету «точки не возврата» и по прогнозируемому времени расхождения) что позволили их объединить в композиционное

решение, отвечающее понятию ЦД по ГОСТ Р 57700.37 [15]. В частности УПМК является цифровой моделью ДТМС, а наличие блоков связи обеспечивает двустороннюю связь с ДТМС (его составными частями).

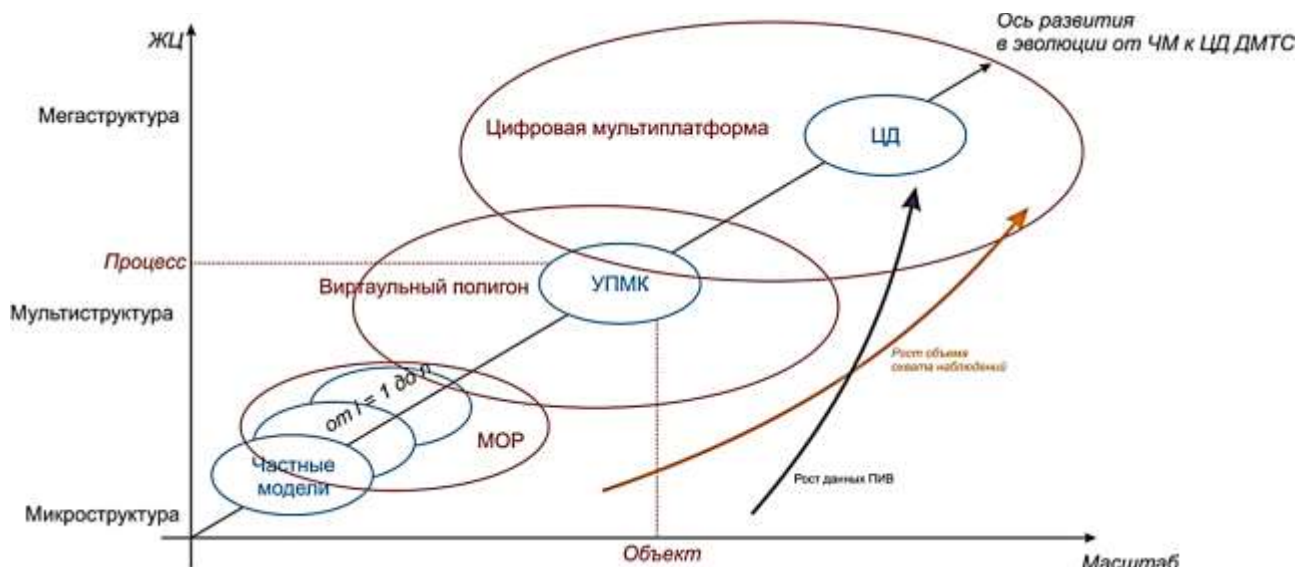


Рисунок 1 – Общая схема эволюции от частных моделей через УПМК к ЦД ДТМС

Теоретической основой развития в представленной схеме эволюции является рост объема данных передаваемых по промышленному интернету вещей (ПІВ), рост интеграции объектов транспорта (включая ДМТС) в системы накопления и обработки эксплуатационных данных, а также технологический рост средств связи, обеспечивающий их передачу. Данные технологические и научно-технические условия и процессы, складывающиеся по мере увеличения связи между моделями и исполнительными системами (за сет параллельного указанным процессам развития программных средств), при рассмотрении во времени позволяют отметить рост объема охвата наблюдений на компонентах систем ДМТС уже на текущем этапе развития, а также представить компонентное взаимодействие при переходе от ДМТС к ВАТС на данном виде транспорта.

Результаты

На рисунке 2 представлено укрупненное композиционное решение по информационным связям между компонентами ЦД ДТМС.

В структуру УПМК по базовым компонентам механических систем включены модели: колеса, сопротивления качению, аэродинамического сопротивления, трансмиссии, силы тяги на заднем колесе, динамики нагружения переднего и заднего колес, системы управления двигателем, системы торможения. При этом САД 3D геометрия массово-геометрических характеристик ДМТС, сопряжена с многотельной моделью, включающей ДВС, трансмиссию, раму, подвески переднего и заднего колес и суррогатной конечно-элементной модели, генерируемой на их базе.

Также в УПМК ранее были включены субмодели системы автоматического экстренного торможения, сопряженная с моделью устойчивости, а также модель расчета траектории и параметров движения, модель удара.

В структуру подключаемых внешних данных входят: данные внешней среды, эксплуатационные данные, базы данных по массово-габаритным параметрам ДМТС, базы данных по антропоморфным манекенам (АМ), базы данных по результатам натурных краш-тестов с ДМТС, базы данных по бортовым устройствам регистрации событий (БУРС) из фактических ДТП с участием ДМТС, база данных сценариев сближения ДМТС с другими участниками дорожного движения.

Для получения данных внешней среды и эксплуатационных данных используется канал беспроводной связи на базе 4g стандарта, реализующего передачу V2X, для получения данных с ДМТС используется J1939 на базе коммуникационную шины CAN стандарта CAN 2.0b.

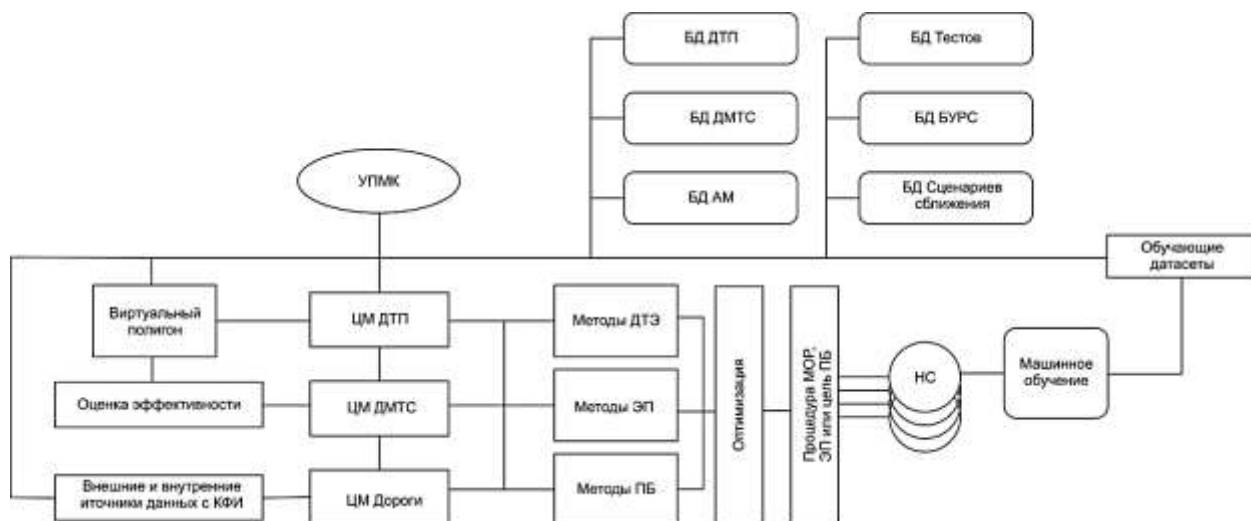


Рисунок 2 – Укрупненная композиция компонентов ЦД ДТМС

Обсуждение

Таким образом, предложенное структурно-функциональное решение по композиции ЦД ДМТС может быть использовано: в задачах ДТЭ (как полимодельный комплекс, реализующий МОР ДТЭ), в задачах экспертной профилактики ДТП с участием ДМТС (как цифровую тень - источник данных по эксплуатации ДМТС, возникновению критических ситуаций, оценке времени до столкновения и прогнозируемого времени выхода, оценке действий водителя), а также в задачах разработки средств пассивной безопасности ДМТС, систем управления движением ДМТС, его органами управления, разработки систем опережающей оценки дорожно-транспортной ситуации, а также для разработки решений по прогнозированию и управлению техническим состоянием ДМТС.

Представленное описание, являясь локальным представлением ЦД ДМТС требует разработки решений по взаимодействию ЦД между собой, которые могут быть построены по иерархической схеме (когда группа ЦД ДМТС на уровне региональной сети объединяется с ЦД транспортной сети вышестоящего уровня), либо по схеме ассоциаций (когда ЦД ДМТС объединяется с ЦД Дорог, ЦД других ТС на кластере ИТС участка сети, района, региона и т.д.), либо по одноранговой схеме (в которой взаимосвязь типа «равный-равному» наблюдается в группе ТС одного или схожего типа, которое выполняет одни и те же или схожие функции).

Также изложенное в настоящей статье описание, как было отмечено выше, фактически является локальным представлением ЦД ДМТС на базе развития УПМК, требует разработки виртуального полигона для проведения полигонных испытаний в условиях, близких к условиям эксплуатации объекта. Это фактически обозначает необходимость создания универсальной системы, состоящей из технических средств, программного, методического и организационного обеспечения, а также квалифицированного персонала, для проведения полигонных испытаний как результата исследования свойств УПМК и ЦД ДТМС, реализованного на ее основе.

Выводы

Предложенная структурно-функциональная схема и изложенное ее краткое описание обеспечивает рациональное решение, позволяющее создать прецедент формирования ЦД ДМТС для решения задач обеспечения БДД при эксплуатации ДМТС как в условиях смешанной сети, так и совместно с высокоавтоматизированными ТС, полностью внедренными в ИТС.

В настоящий момент авторским коллективом ведутся работы по использованию в данной композиции УПМК модели управления устойчивостью на базе контроллера нечеткой логики с оценкой/прогнозированием коэффициента скольжения.

Следует отметить, что для ДМТС без ДВС, а именно для электрических ДМТС, с возможно отличными от стандартных решениями по реализации торможения и/или в целом привода заднего колеса структура УПМК и ЦД не претерпевает существенных изменений относительно предложенного решения. Необходимо продолжение разработки в части создания цифрового (виртуального) испытательного полигона, для проверки различных систем и средств пассивной безопасности ДМТС, систем управления ДМТС в условиях максимально приближенных к реальным.

В более отдаленной перспективе предложенное базовое описание может быть также применено при разработке полностью автоматизированных ДМТС, которые, например, смогут применяться для выполнения курьерских доставок и т.п.

Кроме того предложенное решение, в укрупненном виде по своей структуре может быть также экстраполировано на ТС категорий М1 и М3, а также в дальнейшем и на другие категории ТС, включая многозвенные ТС.

Предложенное структурно-функциональное описание, как в виде УМПК, реализующего принципы цифровой тени ДМТС, так и в виде ЦД ДМТС, позволяет решать задачи рассмотренных слоев: ДТЭ, ЭП ДТП с участием ДМТС и слоя ПБ и ОБДД, формируя прецедент универсальной формы архитектуры, пригодной для исследований в области ДТЭ, работ по исследованию систем управления ДМТС, а также по разработке мер по повышению ПБ ДМТС и по обеспечению БДД в одноранговых взаимодействиях систем ВАДС – ВДТМСДС и ВААТ – Интеллектуальная транспортная система (ИТС) – ДМТСДС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Flanigan E., Blizzard K., Rivadeneyra A., Campbell R. Motorcycle Safety and Intelligent Transportation Systems Gap Analysis. Final Report // U.S. Department of Transportation, FHWA Office of Operations (FHWA HOP). 2018. FHWA-JPO-18-700
2. Гаевский В.В., Иванов А.М. Проблемы применения интеллектуальных систем помощи водителю на однокорейных транспортных средствах // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2018. №3(122).
3. Иванов А.М., Шадрин С.С. Разработка системы межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных средств // Известия ВолгГТУ. Сер. «Наземные транспортные системы». Вып. 7: межвуз. сб. науч. ст. Волгоград: ВолгГТУ, 2013. №21(124). С. 74-77.
4. Гаевский В.В., Подольский М.С. Перспективные способы повышения безопасности однокорейных транспортных средств // Журнал автомобильных инженеров. 2015. №1(90). С. 36-39.
5. Пупков К.А., Андриков Д.А., Синельщикова М.А. Синтез Н-робастного регулятора стабилизации движения мотоцикла // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2015. №3.
6. Аничкин И.М. Применение нейронной сети для управления мотоциклом // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2005. №23.
7. Льянов Марат Савкузович. Прогнозирование устойчивости и тормозных свойств мототранспортных средств: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03. Владикавказ: Ижев. гос. техн. ун-т, 2008. 343 с.
8. Roll G., Hoffmann O., Konig J. Effectiveness Evaluation of Antilock Brake Systems (ABS) for Motorcycles in Real-World Accident Scenarios // Presented at the ESV Conference. 2009.
9. Savino G., Rizzi M., Brown J., Piantini S., Meredith L., Albanese B. et al. Further Development of Motorcycle Autonomous Emergency Braking (MAEB), What Can In-Depth Studies Tell Us? A Multinational Study // Traffic Injury Prevention. Vol. 15. 2014. P. S165-S172.
10. Savino G., Mackenzie J., Allen T., Baldock M., Brown J., Fitzharris M. A robust estimation of the effects of motorcycle autonomous emergency braking (MAEB) based on in-depth crashes in Australia // Traffic Inj Prev. Vol. 17. 2016.
11. Lucci Cosimo, Allen Trevor, Pierini Marco, Savino Giovanni. Motorcycle Autonomous Emergency Braking (MAEB) employed as enhanced braking: Estimating the potential for injury reduction using real-world crash modeling. Traffic Injury Prevention. 22. 1-7. 2021. doi: 10.1080/15389588.2021.1960319.
12. Abdelkarim Ait Moula, Riahi Ebrahim, Serre Thierry. Effect of advanced rider assistance system on powered two wheelers crashes. Heliyon. 10. 2024. doi: e26031.10.1016/j.heliyon.2024.e26031.
13. Lucci Cosimo, Marra Mirko, Huertas Leyva Pedro, Baldanzini Niccolò, Savino Giovanni. Investigating the feasibility of Motorcycle Autonomous Emergency Braking (MAEB): design criteria for new experiments to field test automatic braking. MethodsX. 8. 2021. doi:10.1016/j.mex.2021.101225.
14. Евтюков С.С. Методология оценки и повышения эффективности дорожно-транспортных экспертиз: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10. СПб, 2020. 355 с.
15. ГОСТ Р 57700.37 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Росстандарт. Официальное издание. М.: ФГБУ «РСТ», 2021.

Брылев Илья Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4
К.т.н., доцент кафедры наземных транспортно-технологических машин
E-mail: ilya2104@mail.ru

Васильев Ярослав Владимирович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4
К.т.н., доцент кафедры наземных транспортно-технологических машин
E-mail: xen2k@rambler.ru

Евтюков Сергей Аркадьевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4
Д.т.н., зав. кафедры наземных транспортно-технологических машин

I.S. BRYLEV, Y.V. VASILYEV, S.A. EVTYUKOV

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL DESCRIPTION OF THE DIGITAL TWIN OF DMTS ON THE EXAMPLE OF A MOTORCYCLE

Abstract. In the article the general compositional decision on formation of digital twin of two-wheeled mechanical vehicle on the example of motorcycle realized on the basis of universal poly-model complex is stated, the structural-functional description of digital twin of two-wheeled mechanical vehicle is given and prospects of its further application are given.

Keywords: road traffic expertise, expert prevention, motorcycle, reconstruction of traffic accident mechanism, passive safety, digital twin, road traffic accident, road traffic accident

BIBLIOGRAPHY

1. Flanigan E., Blizzard K., Rivadeneyra A., Campbell R. Motorcycle Safety and Intelligent Transportation Systems Gap Analysis. Final Report // U.S. Department of Transportation, FHWA Office of Operations (FHWA HOP). 2018. FHWA-JPO-18-700
2. Gaevskiy V.V., Ivanov A.M. Problemy primeneniya intellektual'nykh sistem pomoshchi voditelyu na odnokoleynykh transportnykh sredstvakh // Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva. 2018. №3(122).
3. Ivanov A.M., Shadrin S.S. Razrabotka sistemy mezhob"ektnogo vzaimodeystviya intellektual'nykh transportnykh sredstv // Izvestiya VolgGTU. Ser. «Nazemnye transportnye sistemy». Vyp. 7: mezhvuz. sb. nauch. st. Volgograd: VolgGTU, 2013. №21(124). С. 74-77.
4. Gaevskiy V.V., Podol'skiy M.S. Perspektivnye sposoby povysheniya bezopasnosti odnokoleynykh transportnykh sredstv // Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov. 2015. №1(90). С. 36-39.
5. Pupkov K.A., Andrikov D.A., Sinel'shchikova M.A. Sintez N-robastnogo regul'yatora stabilizatsii dvizheniya mototsikla // Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya. 2015. №3.
6. Anichkin I.M. Primenenie neyronnoy seti dlya upravleniya mototsiklom // Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. 2005. №23.
7. L'yanov Marat Savkuzovich. Prognozirovaniye ustoychivosti i tormoznykh svoystv mototransportnykh sredstv: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.05.03. Vladikavkaz: Izhev. gos. tekhn. un-t, 2008. 343 s.
8. Roll G., Hoffmann O., König J. Effectiveness Evaluation of Antilock Brake Systems (ABS) for Motorcycles in Real-World Accident Scenarios // Presented at the ESV Conference. 2009.
9. Savino G., Rizzi M., Brown J., Piantini S., Meredith L., Albanese B. et al. Further Development of Motorcycle Autonomous Emergency Braking (MAEB), What Can In-Depth Studies Tell Us? A Multinational Study // Traffic Injury Prevention. Vol. 15. 2014. R. S165-S172.
10. Savino G., Mackenzie J., Allen T., Baldock M., Brown J., Fitzharris M. A robust estimation of the effects of motorcycle autonomous emergency braking (MAEB) based on in-depth crashes in Australia // Traffic Inj Prev. Vol. 17. 2016.
11. Lucci Cosimo, Allen Trevor, Pierini Marco, Savino Giovanni. Motorcycle Autonomous Emergency Braking (MAEB) employed as enhanced braking: Estimating the potential for injury reduction using real-world crash modeling. Traffic Injury Prevention. 22. 1-7. 2021. doi: 10.1080/15389588.2021.1960319.
12. Abdelkarim Ait Moula, Riahi Ebrahim, Serre Thierry. Effect of advanced rider assistance system on powered two wheelers crashes. Heliyon. 10. 2024. doi: e26031.10.1016/j.heliyon.2024.e26031.
13. Lucci Cosimo, Marra Mirko, Huertas Leyva Pedro, Baldanzini Niccolò, Savino Giovanni. Investigating the feasibility of Motorcycle Autonomous Emergency Braking (MAEB): design criteria for new experiments to field test automatic braking. MethodsX. 8. 2021. doi:101225.10.1016/j.mex.2021.101225.
14. Evtyukov S.S. Metodologiya otsenki i povysheniya effektivnosti dorozhno-transportnykh ekspertiz: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.22.10. SPb, 2020. 355 s.
15. GOST R 57700.37 Komp'yuternye modeli i modelirovaniye. Tsifrovye dvoyniki izdeliy. Obshchie polozeniya. Rosstandart. Ofitsial'noe izdanie. M.: FGBU "RST", 2021.

Brylev Ilya Sergeyevich

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, St. Petersburg
Candidate of technical sciences
E-mail: ilya2104@mail.ru

Evtyukov Sergey Arkadievich

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

Vasiliev Yaroslav Vladimirovich

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, St. Petersburg
Candidate of technical sciences
E-mail: xen2k@rambler.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-119-125

Ж. ВАН, В.В. ЗЫРЯНОВ

**АРХИТЕКТУРА КООПЕРАТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Аннотация. В данной статье представлены методы разработки логической архитектуры кооперативных интеллектуальных транспортных систем (К-ИТС) в контексте китайской национальной архитектуры ИТС. Применен процессно-ориентированный подход, позволяющий выявить и оптимизировать взаимодействие между различными функциональными доменами К-ИТС, что является критически важным для достижения целей повышения безопасности, управляемости и эффективности в современных транспортных системах. Анализируются структурные уровни логической архитектуры, которая включает в себя различные функциональные домены, обеспечивая полноценную интеграцию и кооперацию участников транспортного процесса. Основное внимание уделено определению и взаимосвязи функций, потоков данных и взаимодействия подсистем в рамках К-ИТС, что позволяет улучшить управление, безопасность и эффективность интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: метод разработки, архитектура, интеллектуальные транспортные системы, процессно-ориентированный, К-ИТС

Введение

За последние 20 лет объем и масштабы транспортных систем значительно расширились, и вопросы транспортной безопасности, эффективности передвижения и экологичности стали крупнейшими вызовами для развития транспортных систем по всему миру. Традиционные интеллектуальные транспортные системы (ИТС) уже не справляются с потребностями развития транспортной отрасли [1]. Вместо них приходят интегрированные кооперативные интеллектуальные транспортные системы (К-ИТС), сочетающие участников дорожного движения, транспортные средства и дорожную инфраструктуру, что обеспечивает безопасность движения в сложных дорожных условиях и повышает эффективность движения за счет интеллектуального управления дорогами [2, 3]. Развитие технологий кооперации транспортных средств и инфраструктуры приведет к значительным изменениям в методах получения и взаимодействия информации в кооперативных интеллектуальных транспортных системах, что, в свою очередь, вызовет глубокие изменения в обеспечении безопасности дорожного движения, интеллектуальном управлении дорогами и эффективности поездок, сделав транспорт более безопасным и передвижение более свободным.

За последние годы был отмечен значительный прогресс в разработке Кооперативных интеллектуальных транспортных систем в США, Европе и Японии, с различными проектами, направленными на повышение безопасности дорожного движения, эффективности трафика и экологической устойчивости.

В США технологии К-ИТС были интегрированы в различные проекты на уровне штатов. К ним относятся пилотные испытания в таких штатах, как Калифорния и Флорида, где технологии используются для улучшения потока трафика и повышения мер безопасности. Министерство транспорта США поддержало эти инициативы с целью изучения преимуществ бесперебойной связи между транспортными средствами и инфраструктурой. В 2018 году Министерство транспорта США финансировало пилотные проекты в городах, таких как

Тампа, Нью-Йорк и Вайоминг, развертывая технологии, такие как V2X, для оптимизации транспортных потоков и безопасности. В 2020 году в г. Колумбусе, штат Огайо, был запущен значимый проект по внедрению технологии К-ИТС для улучшения системы общественного транспорта города с использованием решений, основанных на данных.

В Европе также был достигнут значительный прогресс, особенно благодаря инициативам, финансируемым в рамках программы «Горизонт 2020» ЕС. Проекты, такие как MAVEN, TransAID и C-MobILE, исследовали различные аспекты К-ИТС, включая интеграцию транспортных средств и инфраструктуры и применение коммуникаций V2X для улучшения городской мобильности. Европейская комиссия также сыграла ключевую роль в разработке стратегических документов для направления развертывания сервисов К-ИТС по всему континенту, сосредотачиваясь на снижении загруженности дорожного движения и повышении безопасности на дорогах. В 2018 году Германия запустила цифровые испытательные площадки на общественных дорогах, особенно на автобане А9, чтобы проверить жизнеспособность и эффективность К-ИТС путем интеграции технологий датчиков и коммуникационных систем. В 2021 году Великобритания провела широкомасштабные испытания К-ИТС в городских и сельских условиях для оценки эффективности коммуникации между транспортными средствами и инфраструктурой в различных дорожных условиях.

Япония активно продвигала технологии К-ИТС, сосредотачиваясь на улучшении коммуникаций V2X [4]. Один из заметных проектов включал использование 700-мегагерцовой полосы, предназначенной для улучшения эффективности и надежности этих коммуникаций. Это распределение спектра позволяет более эффективно осуществлять коммуникацию между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой, тем самым улучшая управление дорожным движением и безопасность.

Эти достижения свидетельствуют о серьезной приверженности правительств и заинтересованных сторон в этих регионах к использованию технологий К-ИТС для решения современных проблем дорожного транспорта [5, 6].

Кооперативные интеллектуальные транспортные системы представляют собой комплексные мультисистемные структуры, функционирование которых невозможно без наличия четко разработанной поддерживающей архитектуры. Система К-ИТС включает в себя ряд ключевых подсистем, таких как управление транспортными потоками, дорожное управление и обеспечение безопасности движения. Основная цель архитектуры К-ИТС — обеспечить четкое определение взаимодействий между подсистемами, установить нормативы для обмена данными и создать основу для всестороннего планирования, интеграции и развития К-ИТС. Вопросы, связанные с взаимозаменяемостью системных элементов, кооперацией между заинтересованными организациями и участниками, являются сложными и требуют тщательного подхода [7]. Архитектура К-ИТС служит критически важным инструментом, обеспечивающим стратегическое руководство в процессах планирования и реализации систем, а также играет ключевую роль в нормативном регулировании и развитии К-ИТС. Это необходимо для достижения целей по повышению безопасности, эффективности и экологичности в рамках современных транспортных систем [8].

Материал и методы

В настоящее время доминирующим подходом к созданию архитектуры интеллектуальных транспортных систем (ИТС) является процессно-ориентированный метод. Этот метод предполагает использование абстрактной модельной концепции, а также декомпозицию и проектирование функций системы на основе взаимосвязей внутренней передачи информации. Основным принципом является методология нисходящего уточнения, которая предусматривает последовательное уточнение от общего к частному и позволяет реализовать физическую модель, отвечающую требованиям пользователей [9].

В рамках разработки архитектуры ИТС проводится анализ сложности системы ИТС с методом системного анализа. Для анализа системных требований и функций применяется метод структурного анализа, а для создания структуры системы используется метод структу-

рированного проектирования, ориентированный на потоки данных. В процессе этого подхода функции обслуживания пользователя последовательно декомпозируются, а реализация функций выполняется модульно, что в конечном итоге формирует архитектуру ИТС [10].

Применение процессно-ориентированной философии в архитектуре ИТС в значительной степени проявляется в разработке логической и физической архитектуры. Основная цель создания архитектуры ИТС заключается в детализации функционального состава и потоков информации в сложной системе ИТС, то есть в уточнении функциональной и структурной композиции системы. Применение процессно-ориентированного анализа в логической архитектуре ИТС проявляется в анализе пользовательских сервисов, функциональной декомпозиции в соответствии с принципом "сверху вниз", что соответствует логическому процессу анализа задач. Поскольку ИТС не является единой программной системой, а включает множество систем, связанных с дорожным движением, разработка логической архитектуры ИТС осуществляется через интеграцию процессов аналогичных функций, систематизацию иерархии логических функций и создание диаграмм потока данных (DFD, Data Flow Diagram) [11-13].

Теория

Логическая архитектура интеллектуальных транспортных систем (ИТС) представляет собой ключевой элемент архитектуры ИТС в Китае, основная задача которой — описать взаимодействие функций транспортной системы. Логическая архитектура позволяет максимально полно описать потенциальные функции системы, которые соответствуют предоставляемым пользователям сервисам [14]. Эти функции могут быть объединены для выполнения конкретных сервисов. Функции транспортной системы не могут выполняться изолированно, требуется информационный обмен с другими функциями системы, а также предоставления информации другим функциям. Таким образом, логическая архитектура ИТС представляет собой сложную иерархию взаимодействующих функций, предоставляющую необходимые сервисы.

Логическая национальная архитектура ИТС Китая представлена в виде многоуровневой структуры, включающей функциональные домены, системные функции, функции и подфункции [15, 16]. В нее входят восемь функциональных доменов: управление и планирование транспорта, электронное взимание платы, информация для участников дорожного движения, безопасность транспортных средств и вспомогательное вождение, чрезвычайные ситуации и безопасность, управление эксплуатацией, комплексный транспорт и автоматизированные дороги [17]. Связи между этими восьмью функциональными доменами, формирующими верхний уровень логической архитектуры китайской ИТС, показаны на рисунке 1:



Рисунок 1 - Логическая архитектура верхнего уровня интеллектуальных транспортных систем в КНР

Как и в национальной архитектуре ИТС Китая, функциональные домены логической архитектуры К-ИТС должны соответствовать доменам предоставляемых сервисов. Таким образом, логическая архитектура К-ИТС также должна соответствовать шести сервисным доменам: безопасности и управлению транспортными средствами, безопасности пешеходов и велосипедистов, информационным сервисам, управлению транспортом, управлению эксплуатацией и чрезвычайному реагированию и спасению.

Учитывая, что К-ИТС являются основой для реализации всех функций транспортных сервисов, она может обеспечить платформу для сбора данных о транспортных объектах, платформу для обмена информацией на основе многостанционной беспроводной связи, платформу для совместной обработки базовых данных, платформу поддержки информационной безопасности и системного обслуживания, а также комплексную платформу, обеспечивающую реализацию всех видов транспортных сервисов. Поэтому, помимо шести функциональных доменов, необходимо добавить специализированную платформу кооперативных интеллектуальных транспортных систем.

Определение логических функций системы:

Исходя из вышеизложенного дизайна, логическая архитектура К-ИТС должна включать семь функциональных доменов, а именно:

- 1) платформа кооперативных интеллектуальных транспортных систем;
- 2) безопасность и управление транспортными средствами (Vehicle Safety and Control, VSC);
- 3) безопасность пешеходов и немоторизованных транспортных средств (Pedestrians and Non-Motorized Safety, PNMS);
- 4) информационные сервисы (Information Service, IS);
- 5) управление дорожным движением (Traffic Management, TM);
- 6) управление эксплуатацией (Operations Management, OM);
- 7) чрезвычайное реагирование и спасение (Emergency Response and Rescue, ERR).

Отношения потоков данных между этими функциональными доменами показаны на рисунке 2:

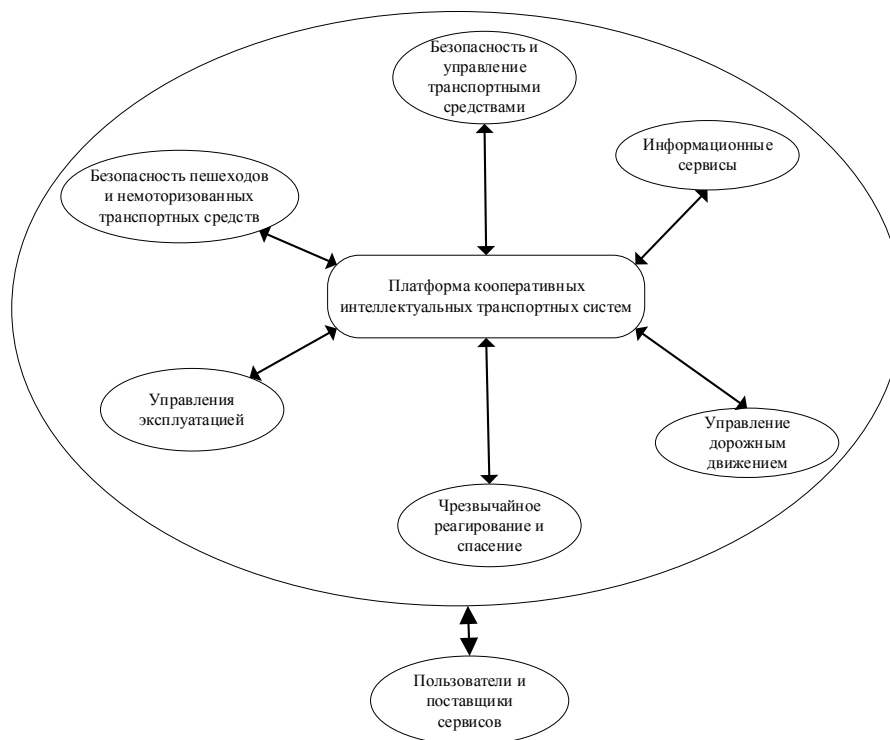


Рисунок 2 - Логическая архитектура верхнего уровня кооперативных интеллектуальных транспортных систем в КНР

Определение потоков данных функциональных доменов следующее:

1) Потоки данных внутри одного функционального домена: код функционального домена_название потока данных.

2) Потоки данных, начальная и конечная точки которых находятся в разных функциональных доменах: код функционального домена начальной точки. код функционального домена конечной точки_название потока данных.

3) Потоки данных, входящие и выходящие из конечной точки (терминатор).

· Исходящие из конечной точки: f_название конечной точки_код функционального домена_название потока данных.

· Входящие в конечную точку: t_название конечной точки_код функционального домена_название потока данных.

4) Потоки данных одного и того же типа, входящих и выходящих из одной и той же конечной точки, могут быть объединены в группу потоков данных.

· Исходящие из конечной точки: fr_название конечной точки.

· Входящие в конечную точку: to_название конечной точки.

· Двусторонние: to/fr_название конечной точки.

Результаты и обсуждение

Разработка архитектуры кооперативной интеллектуальной транспортной системы (К-ИТС) в Китае, основываясь на принципах процессно-ориентированного подхода, является воплощением стратегических приоритетов в области современного транспортного планирования. Опираясь на уже существующую национальную архитектуру ИТС, был проанализирован переход от традиционных подходов к интеграции новейших информационно-коммуникационных технологий, способствующих развитию К-ИТС.

В процессе исследования были выявлены ключевые функциональные области, которые стали фундаментом для формирования семи основных доменов К-ИТС. Это позволило обеспечить не только комплексное управление транспортными потоками и безопасностью, но и создать условия для оптимизации взаимодействия между различными транспортными участниками и инфраструктурой. Такая организация архитектуры способствует формированию комплексной системы, предназначенной для удовлетворения текущих и антиципирующих будущие транспортные требования.

Вывод

Создание единой и гибкой архитектуры К-ИТС в Китае требует согласования множества различных факторов и элементов, начиная от индивидуальных транспортных средств и заканчивая широкомасштабным городским планированием.

Заключительные соображения подчеркивают важность адаптации архитектуры К-ИТС к местным условиям и специфике транспортной сети Китая. Внедрение К-ИТС на основе процессно-ориентированного подхода обеспечивает гибкость в планировании, позволяя интегрировать новые технологии и адаптироваться к изменяющимся потребностям пользователей и динамике транспортных потоков. Благодаря этому подходу удаётся достичь синергии в различных функциональных областях ИТС, способствующей повышению безопасности и эффективности транспортных систем.

Дальнейшие направления исследования должны включать оценку влияния принятых архитектурных решений на общую производительность и надежность К-ИТС. Это потребует глубокого анализа и тестирования реализованных систем в различных условиях эксплуатации, а также разработки новых методик оценки и обеспечения безопасности дорожного движения и управления транспортными потоками.

Таким образом, процессно-ориентированный метод является перспективным направлением в развитии архитектуры К-ИТС в Китае, и его дальнейшее совершенствование позволит формировать устойчивую и интегрированную интеллектуальную транспортную инфраструктуру, способную адекватно реагировать на вызовы современного транспортного ландшафта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vivek Katiyar, Prashant Kumar, Narottam Chand. An Intelligent Transportation Systems Architecture using Wireless Sensor Networks. International Journal of Computer Applications. 2011 (01). Vol. 14. №2. P. 22-26. DOI: 10.5120/1816-2369.
2. Shahgholi T., Sheikahmadi A., Khamforoosh K. et al. LPWAN-based hybrid backhaul communication for intelligent transportation systems: architecture and performance evaluation // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2021. 2021(35). P. 35. DOI: 10.1186/s13638-021-01918-2.
3. Jesty P.H., Bossom R.A.P. Using the frame architecture for planning integrated intelligent transport systems // Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems. 2011. P. 370-375. DOI: 10.1109/FISTS.2011.5973610.
4. Wang X. The development history of China's intelligent transportation - the first experience of ITS // China Highway. 2022. №609 (5). P. 56-61. DOI:10.3969/j.issn.1006-3897.2022.05.019.
5. Zhang J., Li B., Wang X. et al. Smart Expressway Architecture and Development Path Design. Highway Transportation Technology. 2018. №35 (1). P. 88-94. DOI: CNKI: SUN: GLJK.0.2018-01-012.
6. Wang R. Zyryanov V. A Method for Designing the Architecture of Intelligent Transportation Systems in the People's Republic of China // XII International Scientific and Practical Forum «Environmentally Sustainable Cities and Settlements: Problems and Solutions» (ESCP-2023). E3S Web of Conferences. 2023. 403. 07022. doi.org/10.1051/e3sconf/202340307022.
7. Sun W., Han J. Application of GPS and GIS technologies in road transportation systems. Automotive Practice Technology. 2018. 000(023). P. 29-30.
8. Ван Ж., Зырянов В.В. Интеллектуальные системы управления дорожным движением // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VII Международной научно-практической конференции. Т. 1. Орел: Орловский государственный университет. 2021. С. 157-169.
9. Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Гаврилюк М.В. Принципы формирования государственной системы сертификации элементов ИТС в Российской Федерации. Транспорт Российской Федерации. 2020. №6 (91). С. 46-49.
10. Zhang J., Li B., Wang X., Zhang F., Sun X. Design of Architecture and Development Roadmap of Smart Expressway // Journal of Highway and Transportation Research and Denelopment. 2018. 35(1). P. 88-94.
11. Susel Fernandez, Takayuki Ito, Rafik Hadfi. Architecture for intelligent transportation system based in a general traffic ontology // Transportation Engineering. 2016 (10). DOI:10.1007/978-3-319-23467-0_4.
12. Belinova Z., Bures P., Jesty P. Intelligent Transport System Architecture Different Approaches and Future Trends // Data and Mobility. Advances in Intelligent and Soft Computing. Vol 81. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15503-1_11.
13. Meier R., Harrington A., Cahill V. A framework for integrating existing and novel intelligent transportation systems // Proceedings. 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems. 2005. P. 154-159. doi: 10.1109/ITSC.2005.1520124.
14. Salazar-cabrera R., Pachon A. Methodology for Design of an Intelligent Transport System (ITS) [Электронный ресурс] / Architecture for Intermediate Colombian City. Ing. compet. 2019. Vol. 21. №1. P. 49-62. URL: https://doi.org/10.25100/iyc.v21i1.7654.
15. Zhang K., Liu H., Liu D., Wang C., Li Z. Construction method and application of intelligent transportation system architecture // Beijing: People's Communications Publishing House. 2013. P. 20-35.
16. Sun L., Li Y., Gao J. Architecture and Application Research of Cooperative Intelligent Transport Systems // Procedia Engineering. 137(2016). P. 747-753.
17. «China Intelligent Transportation System Architecture» Special Group // China Intelligent Transportation System Architecture. Beijing: People's Transportation Publishing House. 2003(1). P. 69-98.

Ван Жуньчжоу

Донской государственный технический университет
 Адрес: 344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
 Аспирант
 E-mail: 1021553988@qq.com

Зырянов Владимир Васильевич

Донской государственный технический университет
 Адрес: 344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
 Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой организации перевозок и дорожного движения
 E-mail: tolbaga@mail.ru

R. WANG, V.V. ZYRYANOV

ARCHITECTURE OF COOPERATIVE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

Abstract. This paper presents methods for developing the logical architecture of cooperative intelligent transportation systems (C-ITS) within the context of the Chinese national ITS architecture. A process-oriented approach has been applied, allowing the identification and optimization of interac-

tions between various functional domains of C-ITS, which is critically important for achieving the goals of increasing safety, controllability, and efficiency in modern transportation systems. The structural levels of the logical architecture are analyzed, including various functional domains, ensuring full integration and cooperation among the participants of the transportation process. The main focus is on defining and relating the functions, data flows, and interactions of subsystems within C-ITS, which improves the management, safety, and efficiency of intelligent transportation systems.

Keywords: development method, architecture, intelligent transportation systems, process-oriented, C-ITS

BIBLIOGRAPHY

1. Vivek Katiyar, Prashant Kumar, Narottam Chand. An Intelligent Transportation Systems Architecture using Wireless Sensor Networks. International Journal of Computer Applications. 2011 (01). Vol. 14. №2. P. 22-26. DOI: 10.5120/1816-2369.
2. Shahgholi T., Sheikahmadi A., Khamforoosh K. et al. LPWAN-based hybrid backhaul communication for intelligent transportation systems: architecture and performance evaluation // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2021. 2021(35). P. 35. DOI: 10.1186/s13638-021-01918-2.
3. Jesty P.H., Bossom R.A.P. Using the frame architecture for planning integrated intelligent transport systems // Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems. 2011. P. 370-375. DOI: 10.1109/FISTS.2011.5973610.
4. Wang X. The development history of China's intelligent transportation - the first experience of ITS // China Highway. 2022. №609 (5). P. 56-61. DOI:10.3969/j.issn.1006-3897.2022.05.019.
5. Zhang J., Li B., Wang X. et al. Smart Expressway Architecture and Development Path Design. Highway Transportation Technology. 2018. №35 (1). P. 88-94. DOI: CNKI: SUN: GLJK.0.2018-01-012.
6. Wang R. Zyryanov V. A Method for Designing the Architecture of Intelligent Transportation Systems in the People's Republic of China // XII International Scientific and Practical Forum «Environmentally Sustainable Cities and Settlements: Problems and Solutions» (ESCP-2023). E3S Web of Conferences. 2023. 403. 07022. doi.org/10.1051/e3sconf/202340307022.
7. Sun W., Han J. Application of GPS and GIS technologies in road transportation systems. Automotive Practice Technology. 2018. 000(023). P 29-30.
8. Van Zh., Zyryanov V.V. Intellektual'nye sistemy upravleniya dorozhnym dvizheniem // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. T. 1. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet. 2021. S. 157-169.
9. Zhankaziev S.V., Vorob'ev A.I., Gavriluk M.V. Printsipy formirovaniya gosudarstvennoy sistemy sertifikatsii elementov ITS v Rossiyskoy Federatsii. Transport Rossiyskoy Federatsii. 2020. №6 (91). S. 46-49.
10. Zhang J., Li B., Wang X., Zhang F., Sun X. Design of Architecture and Development Roadmap of Smart Expressway // Journal of Highway and Transportation Research and Denelopment. 2018. 35(1). P 88-94.
11. Susel Fernandez, Takayuki Ito, Rafik Hadfi. Architecture for intelligent transportation system based in a general traffic ontology // Transportation Engineering. 2016 (10). DOI:10.1007/978-3-319-23467-0_4.
12. Belinova Z., Bures P., Jesty P. Intelligent Transport System Architecture Different Approaches and Future Trends // Data and Mobility. Advances in Intelligent and Soft Computing. Vol 81. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15503-1_11.
13. Meier R., Harrington A., Cahill V. A framework for integrating existing and novel intelligent transportation systems // Proceedings. 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems. 2005. P. 154-159. doi: 10.1109/ITSC.2005.1520124.
14. Salazar-cabrera R., Pachon A. Methodology for Design of an Intelligent Transport System (ITS) [Elektronnyy resurs] / Architecture for Intermediate Colombian City. Ing. compet. 2019. Vol. 21. №1. P. 49-62. URL: https://doi.org/10.25100/iy.v21i1.7654.
15. Zhang K., Liu H., Liu D., Wang C., Li Z. Construction method and application of intelligent transportation system architecture // Beijing: People's Communications Publishing House. 2013. P. 20-35.
16. Sun L., Li Y., Gao J. Architecture and Application Research of Cooperative Intelligent Transport Systems // Procedia Engineering. 137(2016). P. 747-753.
17. «China Intelligent Transportation System Architecture» Special Group // China Intelligent Transportation System Architecture. Beijing: People's Transportation Publishing House. 2003(1). P. 69-98.

Wang Runzhou

Don State Technical University

Address: 344002, Russia, Rostov-on-Don, str. Sotsialisticheskaya, 162

Postgraduate student

E-mail: 1021553988@qq.com

Zyryanov Vladimir Vasilievich

Don State Technical University

Address: 344002, Russia, Rostov-on-Don, str. Sotsialisticheskaya, 162

Doctor of Technical Sciences, Professor

E-mail: tolbage@mail.ru

Научная статья

УДК 656.2 : 004.8 + 06

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-126-131

Е.А. ЧЕБОТАРЕВА

РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ОЦЕНКИ РЕЗЕРВОВ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКОВ НА БАЗЕ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА И ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

***Аннотация.** В статье предложено развитие технологий искусственного интеллекта и разработка специализированных инструментов исследования способов усиления пропускной способности направления на базе создания цифрового двойника реального железнодорожного участка Северо-Кавказской железной дороги с интенсивным грузовым и пассажирским движением в направлении портов Азово-Черноморского бассейна и курортам Юга России. Актуализирована задача интеллектуального (нейросетевого) управления перевозочным процессом, раскрыты проблемы моделирования сложных объектов и сформированы подзадачи проведения эксперимента по выбору управляющих воздействий оперативного повышения пропускной способности на железнодорожном участке.*

***Ключевые слова:** транспортные системы, железнодорожный транспорт, пропускная способность, интеллектуальные технологии, искусственный интеллект, процедура принятия решения, цифровой двойник*

Введение

В условиях геополитических изменений основные железнодорожные направления функционируют в условиях отсутствия резервов пропускной способности. Поэтому разработка эффективных методов и формирование новых инструментов оценки резервов пропускной способности железнодорожных участков, внедрение инноваций, позволяющих ускорить пропуск поездопотоков в направлении к морским портам и крупным потребителям регионов, являются важнейшими задачами развития припортовых транспортных систем [1]. Указанное актуально как для Восточного полигона, так и Северо-Кавказской, Октябрьской и других железных дорог.

Области исследований пропускной и провозной способностей включают общие вопросы расчета пропускной и провозной способностей железнодорожных станций и участков (Е.В. Архангельский, Ю.В. Дьяков, С.А. Плахотич и др.), вопросы влияния «окон» на пропускную способность (В.Г. Альбрехт, А.И. Богачёв, С.А. Быкадоров, М. Вуйтович, Д.В. Железнов и др.), разработки имитационных моделей транспортных процессов (А.Э. Александров, П.А. Козлов, А.Л. Кузнецов, Н.А. Тушин, И.Н. Шапкин и др.), оценки случайных факторов на изменение условий организации движения (Н.А. Воробьев, А.Г. Котенко, Д.Ю. Левин, А.М. Макарович, А.К. Угрюмов и др.) и другие направления. Изменение инфраструктурных и эксплуатационных параметров железнодорожных линий и их влияние на пропускную и провозную способность рассмотрено и в современных зарубежных исследованиях [2-6].

С 1953 г. было разработано более 50 методик расчета и оценки использования пропускной способности и создано более 40 программных пакетов моделирования и оптимизации [7]. В настоящее время расчеты пропускной способности железнодорожной инфраструктуры выполняются на основе Методики определения пропускной и провозной способности [8]. Также на рассмотрении находятся предложения о внесении изменений в Методику (Письмо Министру транспорта РФ В.Г. Савельеву от 12 января 2023 г. ИСХ-460) с учетом исследований влияния отказов технических средств, а также технологических нарушений и проведения строительных работ на пропускную способность инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Критерием оценки использования пропускной способности основных сооружений и устройств является допустимый коэффициент заполнения пропускной способности, который варьируется для различных категорий участков от 0,97 до 0,98. Анализ влияния различных параметров поездной работы на значение данного коэффициента и поиск дополнительных «скры-

тых» резервов пропускной способности являются направлениями данного исследования.

Материал и методы

К настоящему времени создано около тысячи моделей станций и участков железных дорог. В основном – это имитационное моделирование, на основании которого определяются необходимые длины блок-участков на станциях и подходах к ним (длины рельсовых цепей, места установки маршрутных светофоров) и др. [9, 10]. В рамках данного исследования предлагается остановиться на вопросах интеллектуального (нейросетевого) управления перевозочным процессом, в том числе для проведения исследований.

Искусственные нейронные сети (ИНС) – представляют собой модели, строящиеся аналогично естественным нейронным сетям головного мозга. Основной характерной чертой ИНС является способность к самообучению. Нейронные сети стали основной областью исследований в машинном обучении для решения сложных задач таких как оптимизация, распознавание и идентификация. Существует ряд оптимизационных алгоритмов, позволяющих улучшить работу нейронной сети. В качестве критерия оценки оптимизации, как правило, является возможность ИНС решить задачу за заданное время.

Нейронные сети могут решить актуальную проблему – оперативное управление перевозочным процессом. В «РЖД» предполагается применение искусственных нейронных сетей в комплексе с цифровыми моделями работы станции и ее элементов. При этом нейросети будут использовать для обучения не только реальные данные транспортных информационных систем, но и использовать данные цифровых моделей [11-14].

Интеллектуальные системы позволят железнодорожному транспорту более точно соблюдать график движения, оптимизировать пропускную способность, а также исключить негативный человеческий фактор, связанный с усталостью или невнимательностью. Поэтому на текущий момент активно ведется работа по нейросетевому управлению сортировочных, грузовых, пассажирских станций.

Существующие нейронные сети различаются по архитектуре и областям применения. Применение нейросетевого подхода подразумевает способность к постоянному обучению, ассоциативности, обобщению и абстрагированию, а, следовательно, улучшенной адаптации и точности принимаемого решения. Так как за основу управления перевозочным процессом на железной дороге выбрано строгое соблюдение графика движения, то основной задачей нейросетевого управления будет обнаружение, предсказание и устранение нарушений расписания следования. При управлении движением поездов в идеале стараются точно придерживаться графика движения. К сожалению, такое случается редко, поскольку небольшие неполадки, а в некоторых случаях и серьезные нарушения происходят ежедневно. Неисправность локомотива, отказ стрелочного перевода, задержки в подготовке грузового поезда к отправлению или посадке пассажиров и множество других проблем могут привести к задержкам поездов и в конечном итоге повлиять на всю сеть, иногда непредвиденным образом. В некоторых случаях небольшие задержки компенсируются простым ускорением движения поездов со стороны диспетчерского аппарата, но очень часто приходится принимать онлайн-решения по изменению маршрута и расписания, чтобы уменьшить задержки и повысить эффективность.

Этот процесс принятия решений в режиме онлайн называется является задачей диспетчеризации движения поездов, вариантом в реальном времени вышеупомянутой задачи, а именно, составления расписания движения поездов. Очень мало времени, отведенного на оценку обстановки (часто всего несколько секунд), а также размер и сложность реальных примеров делают эту проблему очень сложной для моделирования.

Теория

В частности, характер проблемы в режиме реального времени во многом ограничивает научные подходы к решению, которые можно эффективно использовать. В оперативном плане задача корректировки графика движения поездов находится в руках диспетчеров, каждый из которых закреплен за определенным участком сети (станция, узел, участок линии и т. д.) при помощи имеющихся информационных систем и инструментов ведения графика движения.

Поездным диспетчером проводится анализ загруженности участка, возможных отклонений с учетом зависимости интенсивности и плотности потока поездов. Диспетчер в сложившейся ситуации выполняет оперативные регулировочные приемы, которые могут быть предупредительными, компенсаторными, как в обычной эксплуатационной обстановке, так и в особых условиях, влияющих на размеры пропущенных поездов. Действия диспетчерского персонала зависят от режима поездной работы. Однако, на текущий момент времени диспетчерам, как правило, практически не предоставляется поддержка принятия решений в этом процессе, отсутствуют эталонные карты поездной ситуации при введении соответствующих регулировочных мероприятий, что усложняет задачу оценки локального представления о сети и принятия во внимание побочных эффектов решений, особенно в областях сети, которые находятся вне прямого контроля данного диспетчера.

Эти и другие факторы повышают зависимость эффективности управления от компетенции диспетчерского персонала. Современные концепции перехода к цифровым платформам управления предусматривают создание интеллектуальных помощников диспетчерского аппарата, полностью или частично замещающие определённые функции или операции. В этой области находятся технологии формирования цифровых двойников объектов железнодорожной инфраструктуры и нейросетевых алгоритмов управления перевозочным процессом.

Результаты и обсуждение

В исследовании сгруппировано несколько задач, укрупненные блоки приведены на рисунке 1. За объект исследования взят реальный участок от станции Высочино до станции Тимашевская Северо-Кавказской железной дороги. Коэффициент пропускной способности на данном участке варьируется от 0,67 до 1,03 за анализируемый период (лето, зима) в зависимости от размеров движения (табл. 1).

Таблица 1 - Коэффициент заполнения пропускной способности на исследуемом участке

Станция начала участка	Станция конца участка	Пропускная способность перегонов при параллельном графике		Пропускная способность перегонов при непарал- лельном графике				Коэффициент заполнения пропускной способности	Примечание
		Туда	Обратно	Грузовых поездов		Пассажирских поездов			
Станция 1	Станция 2	154	154	84	83	32	32	0,67	зима
Станция 1	Станция 2	154	154	28	27	59	59	1,03	лето

В качестве базы для выполнения разработки и проведения экспериментальных исследований используется разработанная в Ростовском государственном университете путей сообщения цифровая модель участка железной дороги ст. Высочино – ст. Тимашевская, в рамках действующего учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога».

В рамках разработки системы управления железнодорожной станцией с применением ИНС необходима грамотная постановка и решение следующих подзадач:

- анализ факторов, определяющих оперативное управляющее решение системы. Каждому из этих факторов необходимо привести в соответствие показатель, пригодный для подачи на входной слой нейронной сети;
- определение наборов выходных данных ИНС, на основании которых будет формироваться команда на построение маршрута следования поезда;
- выбор архитектуры (топологии) нейронной сети: количество входных сигналов, определяющее мощность (количество узлов) входного слоя; количество и тип выходных сигналов, определяющее мощность выходного слоя; определение количества скрытых слоев и числа нейронов в каждом из них; определение структуры и начальной величины весов связей между слоями, а также выбор функции активации узлов.
- выбор способа обучения ИНС;

- определение набора тренировочных данных для обучения ИНС;
- определение набора тестовых данных для верификации ИНС.

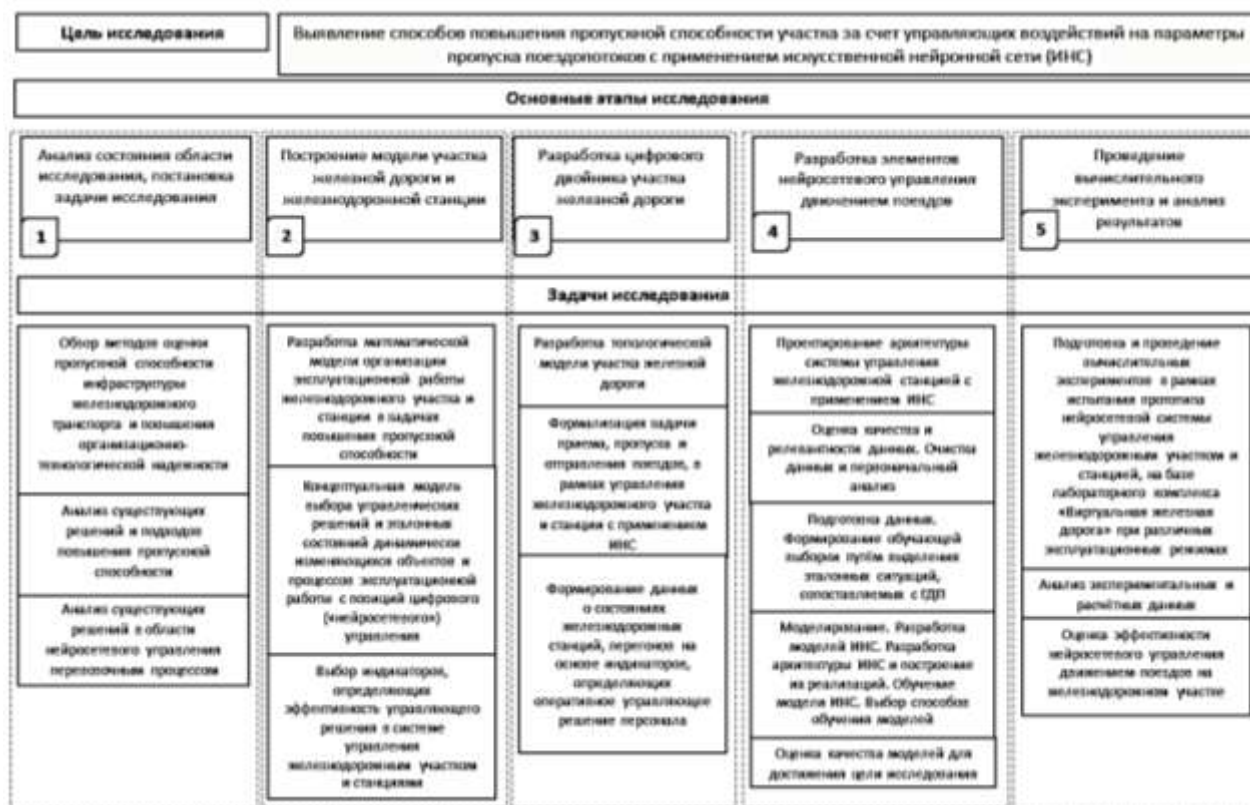


Рисунок 1 – Цель и задачи исследования

Предлагается архитектура системы управления железнодорожной станцией (участком), функциональная схема которой изображена на рисунке 2.

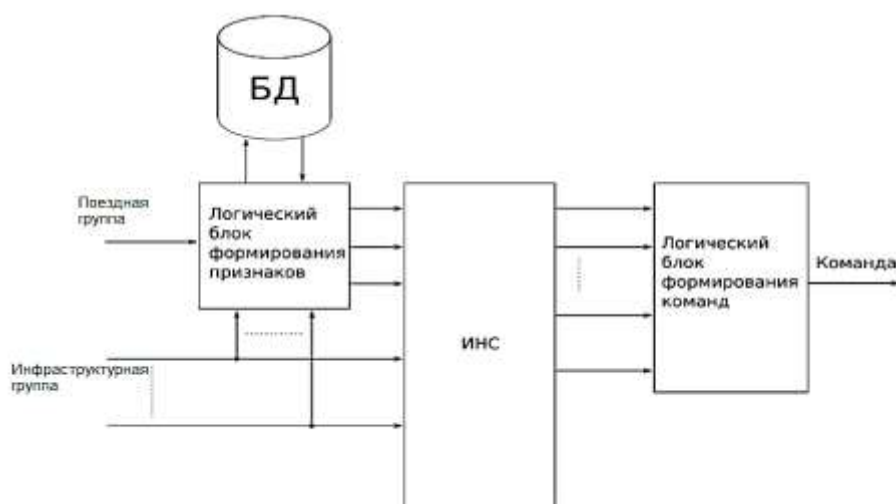


Рисунок 2 – Функциональная схема системы нейросетевого управления железнодорожной станцией/участком в режиме приема/пропуска поездов

Система управления имеет в своем составе детерминированные логические блоки, предназначенные для подготовки данных для искусственной нейронной сети (ИНС) – логический блок формирования признаков, а также для формирования команд на основании принятого ИНС решения.

Формирование многопараметрической задачи оптимального управления динамическими процессами для оперативного повышения пропускной способности сводятся к поиску локальных оптимальных решений по ускорению пропуска поездопотока по участку за счет

управляющего воздействия на параметры пропуска поездопотока. Для нейросетевого программирования ключевыми элементами являются эталонные состояния динамически изменяющегося объекта – поездная ситуация на участке. В рамках представленной формализации модели железнодорожного участка следует указать «нормативные» интервалы изменения параметров поездной работы. Процесс нейросетевого управления будет заключаться в выработке последовательности действий (решений) поездного диспетчера по «улучшению» параметров поездной работы.

Выводы

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что управление перевозочным процессом подвержено влиянию большого количества изменчивых факторов, поэтому является сложно формализованной задачей, решение которой классическими математическими методами или методами имитационного моделирования является труднореализуемой и не всегда обеспечивает требуемую точность результатов. Поэтому использование искусственных нейронных сетей для решения задачи управления перевозочным процессом является перспективным методом. Существует значительный задел в области применения ИНС для мониторинга работы транспорта, однако требуется анализ более широкого применения ИНС в процессах управления транспортными системами, что предложено выполнить в рамках испытания прототипа нейросетевой системы управления железнодорожным участком и станцией на базе лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога» при различных эксплуатационных режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чеботарева Е.А. Анализ мероприятий по повышению пропускной способности участков Северо-Кавказской железной дороги // Транспорт: наука, техника, управление. 2022. №1. С. 29-34.
2. Kendra M., Babin M., Barta D. Changes of the Infrastructure and Operation Parameters of a Railway Line and Their Impact to the Track Capacity and the Volume of Transported Goods // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2012. P. 743-752. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1052.
3. Zitrický V., Černá L., Abramovič B. The Proposal for the Allocation of Capacity for International Railway // Transport Procedia Engineering. 2017. doi: 10.1016/j.proeng.2017.06.171.
4. Ljubaj I. Possibility of Increasing the Railway Capacity of the R106 Regional Line by Using a Simulation Tool // Transportation Research Procedia. 2020. 44. 137-144. doi: 10.1016/j.trpro.2020.02.020.
5. Ljubaja I., Mlinarića T. The Possibility of Utilising Maximum Capacity of the Double-Track Railway By Using Innovative Traffic Organisation // Transportation Research Procedia. 2019. 40. 346-353. doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.051.
6. Rosella F., Codina E. A model that assesses proposals for infrastructure improvement and capacity expansion on a mixed railway network // Transportation Research Procedia. 2020. 47. 441-448. doi: 10.1016/j.trpro.2020.03.119.
7. Kontaxi E., Ricci S. Techniques and Methodologies for Rail-way Capacity Analysis: Comparative Studies and Integration Perspectives // 3rd Intern. Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis. Rail Zurich, 2009, pp. 1051-1080.
8. Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования: приказ Минтранса России от 18.07.2018 №266.
9. Козлов П.А., Вакуленко С.П., Колокольников В.С. О построении интеллектуальных систем управления железнодорожными станциями // Наука и техника транспорта. 2019. №2. С. 70-76.
10. Розенберг Е.Н., Озеров А.В., Панферов И.А. О комплексном подходе к решению задачи повышения пропускной способности // Автоматика, связь, информатика. 2022. №8. С. 2-6
11. Гридин В.Н., Доенин В.В., Панищев В.С., Разживайкин И.С. Цифровая модель: прогноз поведения в транспортных процессах // Мир транспорта. 2019. Т. 17. №2. С. 6-14.
12. Обухов А.Д. Применение нейросетевых технологий в управлении сортировочной станцией // Автоматика, связь, информатика. 2017. №7. С. 14-16.
13. Железнов Д.В. Нейронные сети и прогнозирование размеров движения // Мир транспорта. 2016. №4. С. 114-117.
14. Сивицкий Д.А. Анализ опыта и перспектив применения искусственных нейронных сетей на железнодорожном транспорте // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. №2(57).

Чеботарева Евгения Андреевна

Ростовский государственный университет путей сообщения

Адрес: 344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения

E.A. CHEBOTAREVA

DEVELOPMENT OF RESERVE ASSESSMENT TOOLS THE CAPACITY OF RAILWAY SECTIONS BASED ON THE CREATION OF A DIGITAL TWIN AND THE USE OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Abstract. *The article proposes the development of artificial intelligence technologies and the development of specialized research tools for ways to enhance the capacity of the direction based on the creation of a digital twin of a real railway section of the North Caucasus Railway with heavy freight and passenger traffic in the direction of the ports of the Azov-Black Sea basin and resorts in Southern Russia. The task of intelligent (neural network) control of the transportation process is actualized, the problems of modeling complex objects are disclosed and the subtasks of conducting an experiment on the choice of control actions for operational capacity increase on a railway section are formed.*

Keywords: *transport systems, railway transport, capacity, intelligent technologies, artificial intelligence, decision-making procedure, digital twin*

BIBLIOGRAPHY

1. Chebotareva E.A. Analiz meropriyatiy po povysheniyu propusknoy sposobnosti uchastkov Severo-Kavkazskoy zheleznoy dorogi // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2022. №1. S. 29-34.
2. Kendra M., Babin M., Barta D. Changes of the Infrastructure and Operation Parameters of a Railway Line and Their Impact to the Track Capacity and the Volume of Transported Goods // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2012. R. 743-752. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1052.
3. Zitrick V, Ern L, Abramovi V. The Proposal for the Allocation of Capacity for International Railway // Transport Procedia Engineering. 2017. doi: 10.1016/j.proeng.2017.06.171.
4. Ljubaj I. Possibility of Increasing the Railway Capacity of the R106 Regional Line by Using a Simulation Tool // Transportation Research Procedia. 2020. 44. 137-144. doi: 10.1016/j.trpro.2020.02.020.
5. Ljubaja I, Mlinaria T. The Possibility of Utilising Maximum Capacity of the Double-Track Railway By Using Innovative Traffic Organisation // Transportation Research Procedia. 2019. 40. 346-353. doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.051.
6. Rosella F., Codina E. A model that assesses proposals for infrastructure improvement and capacity expansion on a mixed railway network // Transportation Research Procedia. 2020. 47. 441-448. doi: 10.1016/j.trpro.2020.03.119.
7. Kontaxi E., Ricci S. Techniques and Methodologies for Rail-way Capacity Analysis: Comparative Studies and Integration Perspectives // 3rd Intern. Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis. Rail Zurich, 2009, pp. 1051-1080.
8. Metodika opredeleniya propusknoy i provoznoy sposobnostey infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta obshchego pol'zovaniya: prikaz Mintransa Rossii ot 18.07.2018 №266.
9. Kozlov P.A., Vakulenko S.P., Kolokol'nikov V.S. O postroenii intellektual'nykh sistem upravleniya zheleznodorozhnyimi stantsiyami // Nauka i tekhnika transporta. 2019. №2. S. 70-76.
10. Rozenberg E.N., Ozerov A.V., Panferov I.A. O kompleksnom podkhode k resheniyu zadachi povysheniya propusknoy sposobnosti // Avtomatika, svyaz', informatika. 2022. №8. S. 2-6.
11. Gridin V.N., Doenin V.V., Panishchev V.S., Razzhivaykin I.S. Tsifrovaya model': prognoz povedeniya v transportnykh protsessakh // Mir transporta. 2019. T. 17. №2. S. 6-14.
12. Obukhov A.D. Primenenie neyrosetevykh tekhnologiy v upravlenii sortirovochnoy stantsiei // Avtomatika, svyaz', informatika. 2017. №7. S. 14-16.
13. Zheleznov D.V. Neyronnye seti i prognozirovaniye razmerov dvizheniya // Mir transporta. 2016. №4. S. 114-117.
14. Sivitskiy D.A. Analiz opyta i perspektiv primeneniya iskusstvennykh neyronnykh setey na zheleznodorozhnom transporte // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2021. №2(57).

Chebotareva Evgeniia Andreevna

Rostov State Transport University (RSTU)

Address: 344038, Russia, Rostov-on-Don, sq. Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolchenia

Candidate of technical sciences

E-mail: Abrosimova@ya.ru

Научная статья

УДК 656.073.7

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-132-138

С.Н. ГЛАГОЛЕВ, С.В. ЕРЕМИН, А.Н. НОВИКОВ, А.Г. ШЕВЦОВА

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СТРАНЫ

***Аннотация.** Повышение грузооборота страны, способствует увеличению числа транспортно-логистических комплексов (ТЛК) и вместе с этим, увеличению числа грузовых автомобилей в общем транспортном потоке. В свою очередь, данное явление неразрывно связано с числом аварий. Целью данного исследования является оценка влияния одного из важнейшего фактора – грузооборота на число аварий с участием грузовых автомобилей. В результате выполненного математико-статистического анализа установлено что значимость исследуемого фактора в общей прогнозной модели составляет более 30%, что говорит о прямой зависимости с учетом увеличивающегося грузооборота.*

***Ключевые слова:** транспортно-логистический комплекс, грузооборот, объем перевезенного груза, аварийность, грузовой автотранспорт*

Введение

Активное развитие транспортно-логистического комплекса (ТЛК) страны сегодня обосновано увеличением грузопотока. Согласно Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозным периодом до 2035 года (далее Стратегия) в соответствии с консервативным сценарием реализации Стратегии, грузопоток страны к 2030 году в сравнении с 2019 годом увеличится на 249 млн. тонн; при базовом сценарии на 382 млн. тонн, что безусловно, будет способствовать в первую очередь увеличению количества грузового автотранспорта в общем транспортном потоке [1].

Следует отметить что одним из основных направлений Стратегии является обеспечение безопасности дорожного движения (БДД), а именно сокращение количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в целом, а также снижения тяжести последствий в результате их возникновения. Начиная с 2022 года в общедоступной статистической базе данных Госавтоинспекции [2] появляются новые показатели в числе которых ДТП с участием грузовых автомобилей. В свою очередь в официальной статистической базе данных, представленной на сайте Федеральной государственной статистики [3] имеются данные по грузообороту страны в разбивке по различным видам транспорта.

С учетом увеличивающегося грузопотока, одним из основных направлений развития ТДК будет являться обеспечение безопасности самого перевозочного процесса [4-8], в связи с этим в рамках статьи выполнено исследование по оценке влияния грузооборота страны на количество ДТП. Основная гипотеза исследования заключается в том что увеличение грузооборота оказывает влияние на количество ДТП, в частности на количество ДТП с участием грузового автотранспорта. В качестве независимой переменной – фактора, определено значение грузооборота (миллиард тонно-километров), в качестве зависимой переменной – результата, определено число ДТП с участием грузового автотранспорта. Оценку значимости принято произвести с использованием математико-статистического анализа для обработки данных и расчета параметров линейной регрессии и коэффициента корреляции.

Материал и методы

В анализируемых базах данных [2,3] информация как по факторной и результирующей переменной представлена по годам в разбивке по месяцам, что позволяет сделать выборку данных по 28-ми значениям (январь-декабрь 2022, 2023 года и январь-апрель 2024 года) (табл. 1, рис. 1, 2).

Таблица 1 – Данные по грузообороту и количеству ДТП с участием грузового авто-транспорта в Российской Федерации

№ п/п	Месяц, год	Грузооборот, миллиард тонно-километров	Количество ДТП с участием грузовых автомобилей, шт.
1	январь, 2022	22009,6	1407
2	февраль, 2022	23678,9	1200
3	март, 2022	27348,5	1253
4	апрель, 2022	25264,3	1036
5	май, 2022	25134,1	1161
6	июнь, 2022	26295,2	1441
7	июль, 2022	28052,3	1621
8	август, 2022	28027,5	1688
9	сентябрь, 2022	27684,1	1622
10	октябрь, 2022	27265,4	1620
11	ноябрь, 2022	26200	1610
12	декабрь, 2022	26927,2	1915
13	январь, 2023	26221	1294
14	февраль, 2023	26414,3	1243
15	март, 2023	28932,3	1339
16	апрель, 2023	29069,6	1171
17	май, 2023	29591,9	1379
18	июнь, 2023	31351	1439
19	июль, 2023	34712,5	1729
20	август, 2023	36040,9	1807
21	сентябрь, 2023	37011,4	1737
22	октябрь, 2023	36469,1	1788
23	ноябрь, 2023	34508,1	1734
24	декабрь, 2023	32974,5	1997
25	январь, 2024	31303,9	1475
26	февраль, 2024	30280,5	1352
27	март, 2024	29551,1	1184
28	апрель, 2024	30695,7	1175

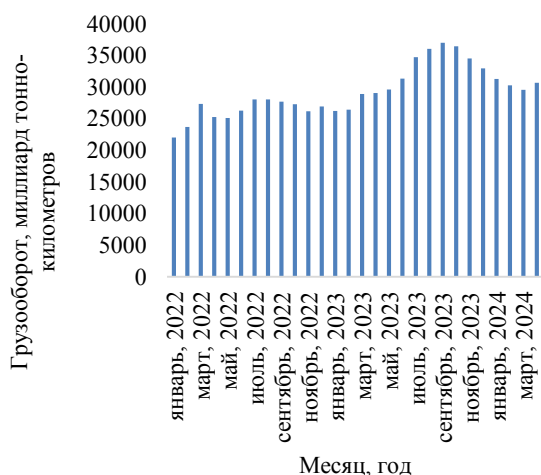


Рисунок 1 – Грузооборот в Российской Федерации (январь-декабрь 2022, 2023 года и январь-апрель 2024 года)

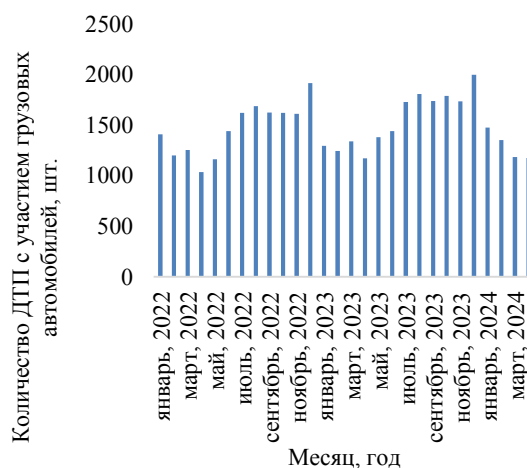


Рисунок 2 – Количество ДТП с участием грузовых автомобилей (январь-декабрь 2022, 2023 года и январь-апрель 2024 года)

Тесноту связи принято оценить с помощью линейного коэффициента парной корреляции:

$$r_{xy} = \frac{\overline{yx} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{(\bar{x}^2 - \bar{x}^2)(\bar{y}^2 - \bar{y}^2)}} \quad (1)$$

где y – зависимая переменная, количество ДТП;

x – фактор, оказывающий влияние – грузооборот.

По результату вычислений, тесноту связи возможно оценить по шкале Чеддока [9, 10], согласно которой при наличии прямой связи в диапазоне 0,1-0,3 наблюдается слабая зависимость (связь); 0,3-0,5 – умеренная; 0,5-0,7 – заметная; 0,7-0,9 – высокая и 0,9-1 – весьма высокая.

С использованием полученных данных (табл. 1) был выполнен расчет коэффициента корреляции, который составил 0,55 что с использованием градации Чеддока говорит о наличии определенной заметной взаимосвязи. Таким образом на промежуточном этапе можно сказать что значение грузооборота страны оказывает влияние на количество ДТП с участием грузовых автомобилей. Нельзя сказать о том что связь сильно выраженная, но тем не менее определенная зависимость в рассматриваемой модели наблюдается. В дальнейшем необходимо оценить значимость исследуемого фактора на результирующий показатель, в нашем случае – значимость показателя грузооборота на значение результата – ДТП с участием грузовых автомобилей.

Безусловно, в рассматриваемой взаимосвязи один показатель не может дать точной оценки результирующего фактора, но для дальнейшей разработки многофакторной модели с учетом большего количества переменных, связанных с системой «водитель-автомобиль-дорога-среда», данный подход может быть очень полезен.

Расчет

Для оценки степени значимости рассматриваемого показателя произведен расчет коэффициента детерминации, значение с учетом принятого линейного характера распределения исследуемых величин составило 0,32. В таком случае можно сказать что 32% вариаций количества ДТП с участием грузового автотранспорта объясняется вариацией рассматриваемого фактора – грузооборота.

Тем не менее, несмотря на наличие определенной связи, для полной оценки рассматриваемых показателей необходимо произвести оценку статистических значений, а именно среднюю ошибку аппроксимации, а также выполнить оценку статистической значимости уравнения регрессии.

Качество модели возможно оценить с помощью средней ошибки аппроксимации, расчет которой осуществляется с использованием формулы:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y - \hat{y}_x}{y} \right| \cdot 100\%, \quad (2)$$

где \bar{A} – средняя ошибка аппроксимации;

n – число наблюдений;

y – зависимая переменная или фактическое значение результирующего признака, в нашем случае количества ДТП с участием грузовых автомобилей;

\hat{y}_x – теоретическое значение результирующего признака, найденное исходя из уравнения регрессии.

В ходе расчета, с использованием данных, представленных в таблице 2, полученное значение средней ошибки аппроксимации составило 12,53 %. Согласно математическим источникам, значение ниже 15 % подтверждает возможность использования линейного уравнения в качестве регрессионной модели.

Тем не менее, низкое значение коэффициента детерминации, позволяет судить о независимом распределении. В таком случае необходимо оценить статистическую значимость параметров регрессии и корреляции.

Для оценки статистической значимости уравнения регрессии, имеющее вид:

$$y = a + b \cdot x, \quad (3)$$

где

$$b = \frac{\bar{y} \cdot \bar{x} - \bar{y} \cdot \bar{x}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2}, \quad (4)$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}. \quad (5)$$

В ходе расчетов с использованием данных, представленных в таблице 2, уравнение регрессии приняло вид:

$$y = 414,42 + 0,04 \cdot x. \quad (6)$$

Для оценки статистической полученного уравнения регрессии (4) использован F-критерий Фишера, который в результате сравнения фактического и табличного значения позволяет определить статистическую значимость полученного уравнения.

По результате расчета с использованием уровня значимости $\alpha=0,05$, было получено $F_{\text{факт}}=11,12$ и $F_{\text{табл}}=4,23$ что при сравнении показывает что уравнение регрессии может быть признано статистически значимым в виду выполнения неравенства:

$$F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}} \quad (7)$$

Таблица 2 – Данные для выполнения математико-статистического анализа

№	x	y	$x \cdot y$	x^2	y^2	\hat{y}_x	$y - \hat{y}_x$	$(y - \hat{y}_x)^2$	A_i
1	22010	1407	30967507,2	484422492	1979649	1216	191	36634,14	13,60
2	23679	1200	28414680	560690305	1440000	1276	-76	5831,48	6,36
3	27349	1253	34267670,5	747940452	1570009	1410	-157	24630,86	12,53
4	25264	1036	26173814,8	638284854	1073296	1334	-298	88848,53	28,77
5	25134	1161	29180690,1	631722983	1347921	1329	-168	28336,76	14,50
6	26295	1441	37891383,2	691437543	2076481	1372	69	4816,25	4,82
7	28052	1621	45472778,3	786931535	2627641	1436	185	34387,47	11,44
8	28028	1688	47310420	785540756	2849344	1435	253	64181,83	15,01
9	27684	1622	44903610,2	766409393	2630884	1422	200	39936,64	12,32
10	27265	1620	44169948	743402037	2624400	1407	213	45404,25	13,15
11	26200	1610	42182000	686440000	2592100	1368	242	58498,50	15,02
12	26927	1915	51565588	725074100	3667225	1395	520	270809,55	27,17
13	26221	1294	33929974	687540841	1674436	1369	-75	5609,98	5,79
14	26414	1243	32832974,9	697715244	1545049	1376	-133	17672,02	10,69
15	28932	1339	38740349,7	837077983	1792921	1468	-129	16536,55	9,60
16	29070	1171	34040501,6	845041644	1371241	1473	-302	90957,98	25,76
17	29592	1379	40807230,1	875680546	1901641	1492	-113	12679,84	8,17x
18	31351	1439	45114089	982885201	2070721	1556	-117	13604,48	8,11
19	34713	1729	60017912,5	1204957656	2989441	1678	51	2600,89	2,95
20	36041	1807	65125906,3	1298946473	3265249	1726	81	6503,37	4,46
21	37011	1737	64288801,8	1369843730	3017169	1762	-25	609,30	1,42
22	36469	1788	65206750,8	1329995255	3196944	1742	46	2121,20	2,58
23	34508	1734	59837045,4	1190808966	3006756	1671	63	4024,55	3,66
24	32975	1997	65850076,5	1087317650	3988009	1615	382	146126,00	19,14
25	31304	1475	46173252,5	979934155	2175625	1554	-79	6228,96	5,35
26	30281	1352	40939236	916908680	1827904	1517	-165	27116,44	12,18
27	29551	1184	34988502,4	873267511	1401856	1490	-306	93709,22	25,85
28	30696	1175	36067447,5	942225998	1380625	1532	-357	127295,18	30,36
Итого	819015	41417	1226460141	24368443986	63084537	41417		1275712,23	350,77
Среднее значение	29251	1479	43802148	870301571	2253019	1479		45561,15	12,53

Далее выполним оценку значимости параметров a , b и r_{xy} с использованием значений t-статистики и стандартных ошибок m_a , m_b и $m_{r_{xy}}$ произведя расчет с использованием формул:

$$m_a = \sqrt{S_{\text{ост}}^2 \frac{\sum x^2}{n^2 \sigma_x^2}}; \quad (8)$$

$$m_b = \sqrt{\frac{S_{\text{ост}}^2}{n \cdot \sigma_x^2}}; \quad (9)$$

$$m_{r_{xy}} = \sqrt{\frac{1-r_{xy}^2}{n-2}}; \quad (10)$$

$$t_a = \frac{a}{m_a}; \quad (11)$$

$$t_b = \frac{b}{m_b}; \quad (12)$$

$$t_{r_{xy}} = \frac{r_{xy}}{m_{r_{xy}}}; \quad (13)$$

Критическое значение t-статистики составило 2,06, а значения t_a , t_b и $t_{r_{xy}}$ составили 1,29; 3,33 и 3,33 соответственно. В результате сравнения полученных значений можно сделать вывод о том, что параметры b и r_{xy} не случайно отличаются от нуля и являются статистически значимыми, в то время как параметр a не является статистически значимым.

Вывод

Таким образом в ходе выполненного математико-статистического анализа можно отметить что значение грузооборота страны является факторным признаком, оказывающим влияние на результирующий показатель – количество ДТП с участием грузового автотранспорта. Полученные значения корреляции и детерминации позволяют сказать о значимости данного параметра и оценить степень его влияния при однофакторном анализе в 30%, следует отметить, что с учетом добавления в модель большего количества факторов степень влияния может измениться.

Значения параметров, входящих в модель и оценка степени их значимости позволяют сделать вывод о том, что не все переменные статистически значимы и следовательно, необходим выбор или определение иной регрессии, позволяющей более точно описать рассматриваемые связи результирующего и факторного параметра.

Тем не менее, на основании выполненных расчетов с учетом ежемесячно предоставляемых данных и наличия данных о грузообороте и планируемом грузообороте по отдельно рассматриваемым субъектом, при выполнении аналогичной процедуры математико-статистического анализа, возможно при подборе более точной регрессии выполнить процедуру прогнозирования аварий с участием грузовых автомобилей, что позволит своевременно принять мероприятия по их ликвидации [11-20].

В свою очередь, расширение данных по таким статистическим показателям как численность парка грузовых автомобилей или протяженность автомобильных дорог с твердым покрытием в разрезе исследуемого периода – месяц, позволит выполнить многофакторный анализ и аналогичным образом оценить число рассматриваемых аварий в прогнозном периоде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года; утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. Москва. 285 с.
2. Показатели состояния безопасности дорожного движения: Официальный сай Министерства внутренних дел Российской Федерации [Электронный ресурс]. ГИБДД России, 2024. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.
3. Федеральная служба государственной статистики: Официальный сай Министерства внутренних дел Российской Федерации [Электронный ресурс]. Москва 1999-2024. URL: <https://rosstat.gov.ru/>.
4. Kurganov V., Dorofeev A., Gryaznov M., Yakimov M. Process Mining as a Means of Improving the Reliability of Road Freight Transportations // Transportation Research Procedia. Novosibirsk. 2021. P. 300-308. DOI 10.1016/j.trpro.2021.02.076.
5. Дорофеев А.Н., Курганов В.М., Грязнов М.В. Использование process Mining и контрольных карт для повышения надежности автомобильных грузовых перевозок // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Том 1. Орел: Орловский государственный университет. 2021. С. 16-27.
6. Ризаева Ю.Н., Сухатерина С.Н., Кузнецов А.Ю. Государственная политика в области автомобильного транспорта // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2021. №1(44). С. 39-42. DOI 10.53015/23049235_2021_1_39.
7. Ризаева Ю.Н., Логинов В. А., Третьяков А. С. Управление развитием грузового автотранспортного предприятия // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: сборник статей меж-

дународной научно-практической конференции. Липецк: Липецкий государственный технический университет. 2022. С. 160-162.

8. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия. 2022. 205 с.

9. Кравченко К.И., Минеева Т.А. Использование линейного коэффициента корреляции для определения характера связи между переменными // Тенденции развития науки и образования. 2022. №82-2. С. 26-30. DOI 10.18411/trnio-02-2022-41.

10. Ишенбаева Ш.К., Омуралиева Д.К. Экономическая сущность и методика расчета коэффициента эластичности // Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8. №5. С. 501-505. DOI 10.33619/2414-2948/78/60.

11. 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.

12. Шевцова А. Г. Динамика реализации программы VISION ZERO в мировых странах // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №3(74). С. 35-42. DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-35-42.

13. 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. DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-6-700-711.

14. 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.

15. Толстой О.В., Шевцова А.Г. Метод повышения уровня безопасности местных автомобильных дорог // Научный портал МВД России. 2024. №1(65). С. 60-68.

Глаголев Сергей Николаевич

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

Д.э.н., профессор, ректор

E-mail: rector@intbel.ru

Еремин Сергей Васильевич

Депутат Государственной думы

Адрес: 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

Д.т.н., старший научный сотрудник ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

E-mail: 140576@mail.ru

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой сервиса и ремонта машин

E-mail: srmostu@mail.ru

Шевцова Анастасия Геннадьевна

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

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

E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

S.N. GLAGOLEV, S.V. EREMIN, A.N. NOVIKOV, A.G. SHEVTSOVA

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE COUNTRY'S TRANSPORT AND LOGISTICS COMPLEX

Abstract. An increase in the country's freight turnover contributes to an increase in the number of transport and logistics complexes (TLC) and at the same time, an increase in the number of trucks in the overall transport flow. In turn, this phenomenon is inextricably linked with the number of accidents. The purpose of this study is to assess the influence of one of the most important factors – cargo turnover on the number of accidents involving trucks. As a result of the mathematical and statistical analysis, it was established that the significance of the factor under study in the general forecast model is more than 30%, which indicates a direct relationship taking into account the increasing cargo turnover.

Keywords: transport and logistics complex, cargo turnover, volume of transported cargo, accident rate, freight vehicles

BIBLIOGRAPHY

1. Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda; utv. rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 27 noyabrya 2021 g. № 3363-r. Moskva. 285 s.
2. Pokazateli sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: Ofitsial'nyy say Ministerstva vnutrennikh del Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs]. GIBDD Rossii, 2024. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.
3. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki: Ofitsial'nyy say Ministerstva vnutrennikh del Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs]. Moskva 1999-2024. URL: <https://rosstat.gov.ru/>.
4. Kurganov V., Dorofeev A., Gryaznov M., Yakimov M. Process Mining as a Means of Improving the Reliability of Road Freight Transportations // *Transportation Research Procedia*. Novosibirsk. 2021. P. 300-308. DOI 10.1016/j.trpro.2021.02.076.
5. Dorofeev A.N., Kurganov V.M., Gryaznov M.V. Ispol'zovanie process Mining i kontrol'nykh kart dlya povysheniya nadezhnosti avtomobil'nykh gruzovykh perevozok // *Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. V 2-kh tomakh. Tom 1. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet. 2021. S. 16-27.
6. Rizaeva YU.N., Sukhaterina S.N., Kuznetsov A.YU. Gosudarstvennaya politika v oblasti avtomobil'nogo transporta // *Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2021. №1(44). S. 39-42. DOI 10.53015/23049235_2021_1_39.
7. Rizaeva YU.N., Loginov V. A., Tret'yakov A. S. Upravlenie razvitiem gruzovogo avtotransportnogo predpriyatiya // *Infokommunikatsionnye i intellektual'nye tekhnologii na transporte: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Lipetsk: Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. 2022. S. 160-162.
8. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya. 2022. 205 s.
9. Kravchenko K.I., Mineeva T.A. Ispol'zovanie lineynogo koeffitsienta korrelyatsii dlya opredeleniya kharaktera svyazi mezhdum peremennymi // *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2022. №82-2. S. 26-30. DOI 10.18411/trnio-02-2022-41.
10. Ishenbaeva SH.K., Omuralieva D.K. Ekonomicheskaya sushchnost' i metodika rascheta koeffitsienta elastichnosti // *Byulleten' nauki i praktiki*. 2022. T. 8. №5. S. 501-505. DOI 10.33619/2414-2948/78/60.
11. Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G. Puti povysheniya bezopasnosti funktsionirovaniya obshchestvennogo transporta v usloviyakh perspektivnogo razvitiya goroda. Belgorod-Orel: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova. 2023. 239 s.
12. Shevtsova A. G. Dinamika realizatsii programmy VISION ZERO v mirovykh stranakh // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2021. №3(74). S. 35-42. DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-35-42.
13. Shevtsova A.G. Matematicheskii analiz opredelennykh pokazateley bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. 2021. T. 18. №6(82). S. 700-711. DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-6-700-711.
14. 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.
15. Tolstoy O.V., Shevtsova A.G. Metod povysheniya urovnya bezopasnosti mestnykh avtomobil'nykh dorog // *Nauchnyy portal MVD Rossii*. 2024. №1(65). S. 60-68.

Glagolev Sergey Nikolayevich

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Doctor of Economics Science
E-mail: rector@intbel.ru

Eremin Sergey Vasilyevich

Deputy of the State Duma
Doctor of Technical Science
Address: 660041, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny Ave, 79
E-mail: 140576@mail.ru

Novikov Alexander Nikolayevich

Oryol State University
Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya St., 77
Doctor of Technical Sciences
E-mail: srmotu@mail.ru

Shevtsova Anastasia Gennadiyevna

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

Научная статья

УДК 656.022.81

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-139-147

С.Ж. ЖУМАЛИЕВА, Д.А. ТИМОФЕЕВА, М.И. МАЛЫШЕВ

СЕТЕВОЙ ГРАФИК ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ПО МАРШРУТУ МУРМАНСК – САНКТ-ПЕТЕРБУРГ – МУМБАИ – КОЛОМБО И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОРСКИХ ПУТЕЙ И МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА «СЕВЕР-ЮГ»

Аннотация. В статье рассматривается маршрут Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо, использование сетевого графика в построении путей и анализе морских путей и мультимодального транспортного коридора «Север-Юг». Рассмотрены новые направления и их перспективы. Для сравнительного анализа были использованы такие критерии как: критерий Гурвица, критерий Лапласа и критерий Вальда на основе показателей времени и расстояния. Выявлены наиболее оптимальные пути перевозки без учета стоимостных показателей.

Ключевые слова: транспортный коридор «Север-Юг», сетевой график, мультимодальные перевозки, анализ путей, маршрут Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо, морские перевозки, железнодорожные перевозки

Введение

Было проведено исследование касательно транспортного коридора «Север-Юг», развитие которого необходимо для увеличения объема транзита между Европой и Азией по территории России. Развитие коридора «Север-Юг» окажет положительное воздействие на российские предприятия при выходе на зарубежные рынки, что приведет к повышению социально-экономического уровня страны [1].

В настоящее время наблюдается увеличение товарооборота и развитие внешнеэкономических связей с предприятиями восточных стран [2]. Поэтому существует потребность в увеличении объема перевозок через транспортный коридор «Север-Юг» и южный морской путь, а также поиске и формировании новых альтернативных путей [3]. В настоящем исследовании были проанализированы возможные маршруты перевозок по данному направлению [4]. Также учтена возможность доставки через порт Лавна и через участок железной дороги Астара – Решт, которые на данный момент находятся на этапе строительства [5].

Кроме того, перспективным является развитие железнодорожных контейнерных перевозок по транспортному коридору «Север-Юг» [6]. Ожидается увеличение объема торговли до 400 тыс. контейнеров в 20-футовом эквиваленте [7].

Объектом настоящего исследования является сеть маршрутов перевозки грузов по направлению Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо. Предметом исследования является сетевой график маршрута Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо.

Целью исследования выбор оптимального маршрута Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо по критериям расстояние и время. является анализ существующих и новых альтернативных путей, разработка и

Доля достижения поставленной цели осуществлен сбор информации о транспортном коридоре «Север-Юг» и возможных маршрутах перевозки грузов, выполнен сравнительный анализ морских путей и мультимодального транспортного коридора «Север-Юг» и построены маршруты по пути следования Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо. Составлен сетевой графика маршрута, выполнен расчёт критериев Лапласа, Вальда и Гурвица и сделан выбор оптимального пути.

Материал и методы

В исследовании были использованы такие материалы и научные методы как информация о расстоянии и времени перевозки по маршрутам по видам транспорта, анализ, сравнительный анализ, составление сетевого графика, применены критерии Лапласа, Вальда и Гурвица.

Теория и расчёты

В начале исследования были рассмотрены определения мультимодальной перевозки и сетевого графика. По совокупности существующих понятий мультимодальная перевозка – это транспортировка какого-либо груза, при котором задействованы несколько видов транспорта (подвижного состава), при этом перевозчиком является одна транспортная компания или один вид транспорта.

Сетевой график представляет собой инструмент сетевого анализа [8]. Данный инструмент наглядно показывает зависимость и последовательность выполнения работ и варианты их исполнения [9]. Он состоит из вершин и дуг.

Были рассмотрены возможные маршруты и построение сетевого графика на основе полученных данных.

В данной работе дуга является процессом перемещения груза из одной вершины в другую. Вершина является местом, где заканчивается одна дуга и начинается другая, при этом возможно изменение вида транспорта (например, с железнодорожного на морской транспорт). Фактически, вершина – это географическое место расположения груза (табл. 1).

Таблица 1 – Обозначения вершин и географических мест возможной смены вида транспорта

Наименование места	№ вершины	Наименование места	№ вершины
Мурманск	1	Бафк	12
ЖД станция «Выходной» (Мурманск)	2	Порт Бендер-Аббас	13
Порт Лавна	3	Порт Бендер-Хомейни	14
Санкт-Петербург	4	Захедан	15
Астрахань	5	Суккур	16
Актау	6	Ахмедабад	17
Порт Туркменбаши	7	Мумбаи	18
Порт Энзели	8	Рамешварам	19
Баку	9	Талайманнар	20
Берекет	10	Ростов-на-Дону	21
Тегеран	11	Коломбо	22

На основе данных из таблицы был составлен сетевой график маршрута Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо (рис. 1).

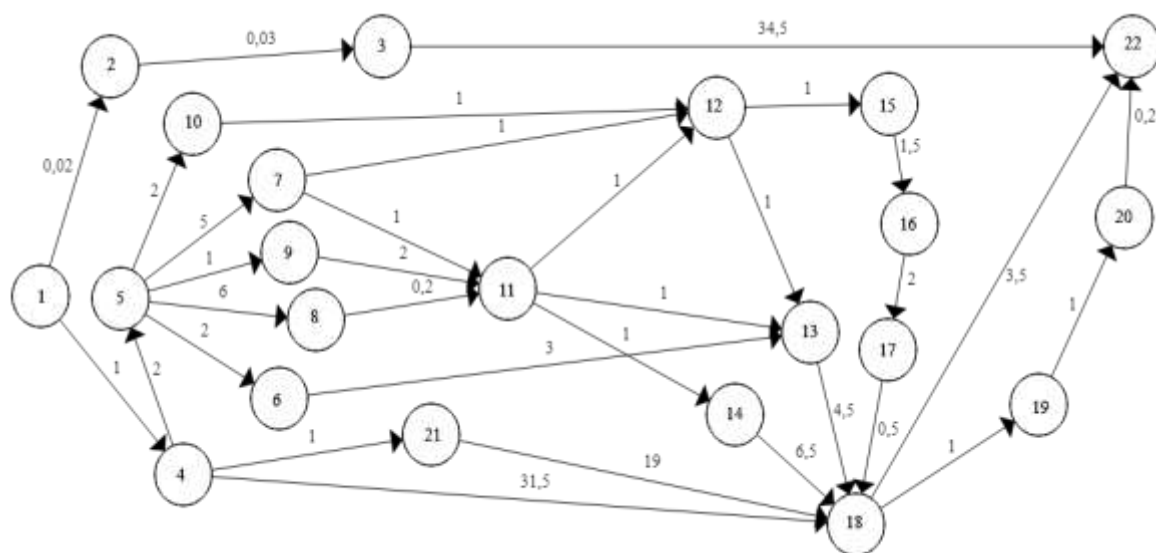


Рисунок 1 – Сетевой график маршрута Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо

Сетевой график в данном случае является схемой транспортных путей, маршрутов. На рисунке 1 сверху дуг указано время в пути в днях.

Далее участкам между вершинами были присвоены шифры работ и предоставлена более подробная информация по участкам пути следования (табл. 2).

Таблица 2 - Информация по участкам пути следования маршрута Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо

№	Шифр работы	Время, дни	Вид транспорта	Расстояние, км
1	1-2	0,02	Автомобильный	18
2	2-3	0,03	Железнодорожный	45
3	1-4	1	Железнодорожный	1013
4	4-5	2	Железнодорожный	2183
5	5-6	2	Железнодорожный	1208
6	5-7	5	Морской	2222
7	5-8	6	Морской	2667
8	5-9	1	Железнодорожный	863
9	5-10	2	Железнодорожный	1974
10	9-11	2	Железнодорожный (не хватает участка Астара-Решт)	791
11	7-11	1	Железнодорожный	960
12	8-11	0,2	Железнодорожный	366
13	7-12	1	Железнодорожный	1457
14	10-12	1	Железнодорожный	1354
15	11-13	1	Железнодорожный	1280
16	12-13	1	Железнодорожный	626
17	6-13	3	Железнодорожный	2965
18	11-14	1	Железнодорожный	928
19	11-12	1	Железнодорожный	743
20	12-15	1	Железнодорожный	769
21	15-16	1,5	Железнодорожный	1086
22	16-17	2	Железнодорожный	2035
23	17-18	0,5	Железнодорожный	526
24	13-18	4,5	Морской	1987
25	14-18	6,5	Морской	2887
26	18-19	1	Железнодорожный	1551
27	19-20	1	Морской	952
28	20-22	0,2	Железнодорожный	352
29	4-21	1	Железнодорожный	1542
30	21-18	19	Морской	8277
31	4-18	31,5	Морской	14005
32	18-22	3,5	Морской	1646
33	3-22	34,5	Морской	15351

После присвоения участкам между вершинами шифров работ (табл. 2), вычисления длительности перевозки в днях, определения вида транспорта и построения сетевого графика (рис. 1) были составлены маршруты (табл. 3). Для каждого маршрута были взяты критерии времени и расстояния, а важный критерий стоимости не учитывался по причине изменчивости и гибкости тарифов в зависимости от товара, сезонности, построении новых участков железной дороги, модернизации железнодорожной сети и иных факторов.

Таблица 3 – Маршруты доставки грузов по исследуемому направлению

№	Маршрут	Время, дни	Расстояние, км	Вид транспорта
1	1,2,3,22	34,55	15414	Автомобильный, Железнодорожный, Морской
2	1,4,5,10,12,15,16,17,18,22	14,5	12586	Железнодорожный, Морской
3	1,4,5,10,12,15,16,17,18,19,20,22	13,2	12684	Железнодорожный, Морской
4	1,4,5,10,12,13,18,22	15	10783	Железнодорожный, Морской
5	1,4,5,10,12,13,18,19,20,22	13,7	11992	Железнодорожный, Морской
6	1,4,5,7,12,13,18,19,20,22	16,7	12343	Железнодорожный, Морской
7	1,4,5,7,12,13,18,22	18	11134	Железнодорожный, Морской
8	1,4,5,7,12,15,16,17,18,19,20,22	16,2	14146	Железнодорожный, Морской
9	1,4,5,7,12,15,16,17,18,22	17,5	12937	Железнодорожный, Морской
10	1,4,5,9,11,12,13,18,19,20,22	14,7	11061	Железнодорожный, Морской
11	1,4,5,9,11,12,13,18,22	16	9852	Железнодорожный, Морской
12	1,4,5,9,11,12,15,16,17,18,19,20,22	14,2	12864	Железнодорожный, Морской
13	1,4,5,9,11,12,15,16,17,18,22	15,5	11655	Железнодорожный, Морской
14	1,4,5,9,11,13,18,22	15	9763	Железнодорожный, Морской
15	1,4,5,9,11,13,18,19,20,22	13,7	10972	Железнодорожный, Морской
16	1,4,5,9,11,14,18,22	17	10311	Железнодорожный, Морской
17	1,4,5,9,11,14,18,19,20,22	15,7	11520	Железнодорожный, Морской
18	1,4,5,8,11,12,13,18,19,20,22	17,9	12440	Железнодорожный, Морской
19	1,4,5,8,11,12,13,18,22	19,2	11231	Железнодорожный, Морской
20	1,4,5,8,11,12,15,16,17,18,19,20,22	17,4	14243	Железнодорожный, Морской
21	1,4,5,8,11,12,15,16,17,18,22	18,7	13034	Железнодорожный, Морской
22	1,4,5,8,11,13,18,22	18,2	11142	Железнодорожный, Морской
23	1,4,5,8,11,13,18,19,20,22	16,9	12351	Железнодорожный, Морской
24	1,4,5,8,11,14,18,22	20,2	11690	Железнодорожный, Морской
25	1,4,5,8,11,14,18,19,20,22	18,9	12899	Железнодорожный, Морской
26	1,4,5,6,13,18,22	14	11002	Железнодорожный, Морской
27	1,4,5,6,13,18,19,20,22	12,7	12211	Железнодорожный, Морской
28	1,4,21,18,22	24,5	12478	Железнодорожный, Морской
29	1,4,21,18,19,20,22	23,2	13687	Железнодорожный, Морской
30	1,4,18,22	36	16664	Железнодорожный, Морской
31	1,4,18,19,20,22	34,7	17873	Железнодорожный, Морской
32	1,4,5,7,11,12,13,18,22	19	11380	Железнодорожный, Морской
33	1,4,5,7,11,12,13,18,19,20,22	17,7	12589	Железнодорожный, Морской
34	1,4,5,7,11,12,15,16,17,18,19,20,22	17,2	14392	Железнодорожный, Морской
35	1,4,5,7,11,12,15,16,17,18,22	18,5	13183	Железнодорожный, Морской
36	1,4,5,7,11,13,18,22	18	11291	Железнодорожный, Морской
37	1,4,5,7,11,13,18,19,20,22	16,7	12500	Железнодорожный, Морской
38	1,4,5,7,11,14,18,22	20	11839	Железнодорожный, Морской
39	1,4,5,7,11,14,18,19,20,22	18,7	13048	Железнодорожный, Морской

Проведен сравнительный анализ выявленных вариантов доставки. Чтобы сравнение маршрутов было объективным, необходимо время (исчисляемое в днях) и расстояние (исчисляемое в километрах) привести к единому знаменателю, то есть, сделать относительными показателями (табл. 4). Показатели вычислены относительно максимального значения.

Таблица 4 – Относительные показатели маршрутов

№	Маршрут	Время	Расстояние
1	1,2,3,22	0,959722222	0,86241817
2	1,4,5,10,12,15,16,17,18,22	0,402777778	0,70419068
3	1,4,5,10,12,15,16,17,18,19,20,22	0,366666667	0,70967381
4	1,4,5,10,12,13,18,22	0,416666667	0,60331226
5	1,4,5,10,12,13,18,19,20,22	0,380555556	0,67095619
6	1,4,5,7,12,13,18,19,20,22	0,463888889	0,69059475
7	1,4,5,7,12,13,18,22	0,5	0,62295082
8	1,4,5,7,12,15,16,17,18,19,20,22	0,45	0,79147317
9	1,4,5,7,12,15,16,17,18,22	0,486111111	0,72382924
10	1,4,5,9,11,12,13,18,19,20,22	0,408333333	0,61886645
11	1,4,5,9,11,12,13,18,22	0,444444444	0,55122251
12	1,4,5,9,11,12,15,16,17,18,19,20,22	0,394444444	0,71974487
13	1,4,5,9,11,12,15,16,17,18,22	0,430555556	0,65210093
14	1,4,5,9,11,13,18,22	0,416666667	0,54624294
15	1,4,5,9,11,13,18,19,20,22	0,380555556	0,61388687
16	1,4,5,9,11,14,18,22	0,472222222	0,57690371
17	1,4,5,9,11,14,18,19,20,22	0,436111111	0,64454764
18	1,4,5,8,11,12,13,18,19,20,22	0,497222222	0,69602193
19	1,4,5,8,11,12,13,18,22	0,533333333	0,628378
20	1,4,5,8,11,12,15,16,17,18,19,20,22	0,483333333	0,79690035
21	1,4,5,8,11,12,15,16,17,18,22	0,519444444	0,72925642
22	1,4,5,8,11,13,18,22	0,505555556	0,62339842
23	1,4,5,8,11,13,18,19,20,22	0,469444444	0,69104235
24	1,4,5,8,11,14,18,22	0,561111111	0,6540592
25	1,4,5,8,11,14,18,19,20,22	0,525	0,72170313
26	1,4,5,6,13,18,22	0,388888889	0,61556538
27	1,4,5,6,13,18,19,20,22	0,352777778	0,68320931
28	1,4,21,18,22	0,680555556	0,69814804
29	1,4,21,18,19,20,22	0,644444444	0,76579198
30	1,4,18,22	1	0,93235607
31	1,4,18,19,20,22	0,963888889	1
32	1,4,5,7,11,12,13,18,22	0,527777778	0,6367146
33	1,4,5,7,11,12,13,18,19,20,22	0,491666667	0,70435853
34	1,4,5,7,11,12,15,16,17,18,19,20,22	0,477777778	0,80523695
35	1,4,5,7,11,12,15,16,17,18,22	0,513888889	0,73759302
36	1,4,5,7,11,13,18,22	0,5	0,63173502
37	1,4,5,7,11,13,18,19,20,22	0,463888889	0,69937895
38	1,4,5,7,11,14,18,22	0,555555556	0,66239579
39	1,4,5,7,11,14,18,19,20,22	0,519444444	0,73003972

Далее, чтобы сравнить маршруты, необходимо использовать критерии Гурвица, Лапласа и Вальда [10].

Критерий Гурвица устанавливает баланс между случаями крайнего оптимизма и пессимизма путём взвешивания этих двух способов поведения соответствующими весами [11]:

$(1 - \alpha)$ и α , где $0 \leq \alpha \leq 1$

Значение α определяется в зависимости от склонности лица, принимающего решение, к пессимизму или оптимизму. Значение α в пессимистических условиях равно 0,3, а в оптимистических – 0,7.

$$K(a_i) = \alpha \max_i k_{ij} + (1 - \alpha) \min_i k_{ij},$$

где $K(a_i)$ – критерий Гурвица;

α – показатель оптимизма и пессимизма;

k_{ij} – выигрыш при i -ной стратегии при j -ом состоянии природы.

Результаты расчетов представлены в вспомогательной таблице к критерию Гурвица (табл 5).

Таблица 5 – Вспомогательная таблица к критерию Гурвица

№	Оптимистические условия	Пессимистические условия	№	Оптимистические условия	Пессимистические условия	№	Оптимистические условия	Пессимистические условия
1	0,930531	0,8916093	14	0,5073700	0,4555395	27	0,584079	0,4519072
2	0,613766	0,4932016	15	0,5438874	0,4505549	28	0,692870	0,6858333
3	0,606771	0,4695688	16	0,5454992	0,5036266	29	0,729387	0,6808487
4	0,547318	0,4726603	17	0,5820166	0,4986420	30	0,979706	0,9526492
5	0,583836	0,4676757	18	0,6363820	0,5568621	31	0,989166	0,9747222
6	0,622582	0,5319006	19	0,5998646	0,5618467	32	0,6040335	0,5604588
7	0,586065	0,5368852	20	0,7028302	0,5774034	33	0,6405509	0,5554742
8	0,689031	0,5524419	21	0,6663128	0,5823880	34	0,7069991	0,5760155
9	0,652513	0,5574265	22	0,5880455	0,5409084	35	0,6704817	0,5810001
10	0,555706	0,4714932	23	0,6245629	0,5359238	36	0,5922145	0,5395205
11	0,519189	0,4764778	24	0,6261747	0,5889955	37	0,6287319	0,5345359
12	0,622154	0,4920345	25	0,6626921	0,5840109	38	0,6303437	0,5876076
13	0,585637	0,4970191	26	0,5475624	0,4568918	39	0,6668611	0,5826230

Критерий Лапласа опирается на принцип недостаточного основания [12]. Согласно этому принципу все состояния природы полагаются равновероятными, поэтому критерий Лапласа определяется по формуле [13]:

$$K(a_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{ij},$$

где $K(a_i)$ – критерий Лапласа;

n – число состояний природы;

k_{ij} – выигрыш при i -ной стратегии при j -ом состоянии природы.

Критерий Вальда является максимальным или минимальным критерием [14]. Выбор решения в условиях неопределенности по максимальному критерию позволяет выбрать стратегию, которая в наихудших условиях гарантирует максимальный выигрыш [15].

$$K(a_i) = \min_i k_{ij},$$

где $K(a_i)$ – критерий Вальда;

k_{ij} – выигрыш при i -ной стратегии при j -ом состоянии природы.

В результате расчета всех критериев Лапласа, Вальда и Гурвица для каждого маршрута, получены значения, представленные в таблице 6.

Ячейки, выделенные зелёным цветом – оптимальные значения по минимальным значениям критериев, а жёлтые – по максимальным.

Результаты и обсуждение

По критерию Лапласа самым оптимальным маршрутом является №14 и №31, по критерию Вальда - №15 и №30, по критерию Гурвица - №14 и №31.

Таблица 6 – Критерии Лапласа, Вальда и Гурвица

№ маршрута	Критерий Лапласа	Критерий Вальда	Критерий Гурвица	№ маршрута	Критерий Лапласа	Критерий Вальда	Критерий Гурвица
1	0,91107	2,617424	0,930531	21	0,62435	1,416667	0,666313
2	0,553484	1,289153	0,613767	22	0,564477	1,378788	0,588046
3	0,53817	1,299191	0,606772	23	0,580243	1,280303	0,624563
4	0,509989	1,136364	0,547319	24	0,607585	1,530303	0,626175
5	0,525756	1,228311	0,583836	25	0,623352	1,431818	0,662692
6	0,577242	1,265152	0,622583	26	0,502227	1,126908	0,547562
7	0,561475	1,363636	0,586066	27	0,517994	1,250743	0,58408
8	0,620737	1,44894	0,689031	28	0,689352	1,856061	0,69287
9	0,60497	1,325758	0,652514	29	0,705118	1,757576	0,729388
10	0,5136	1,132951	0,555707	30	0,966178	2,727273	0,979707
11	0,497833	1,212121	0,519189	31	0,981944	2,628788	0,989167
12	0,557095	1,317628	0,622155	32	0,582246	1,439394	0,604034
13	0,541328	1,193793	0,585637	33	0,598013	1,340909	0,640551
14	0,481455	1,136364	0,50737	34	0,641507	1,474137	0,706999
15	0,497221	1,123835	0,543887	35	0,625741	1,401515	0,670482
16	0,524563	1,287879	0,545499	36	0,565868	1,363636	0,592215
17	0,540329	1,189394	0,582017	37	0,581634	1,280344	0,628732
18	0,596622	1,356061	0,636382	38	0,608976	1,515152	0,630344
19	0,580856	1,454545	0,599865	39	0,624742	1,416667	0,666861
20	0,640117	1,458875	0,70283				

При выборе маршрута, также следует учитывать законодательства стран-участников транспортного коридора, особенности таможенного оформления, степень развития инфраструктуры и время, которое понадобится на оформление документов и погрузо-разгрузочные работы. В таком случае необходимо взять во внимание время и стоимость, затраченные на выполнение той или иной операции. При таких обстоятельствах оптимальные маршруты №14 и №15 нуждаются в построении участка Астара – Решт, что позволит избежать погрузо-разгрузочных работ при смене с железнодорожного на автомобильный транспорт и наоборот, следовательно, минимизировать операции и затраты.

Перспективным является маршрут №1, при построении железнодорожного участка станция «Выходной» - «Лавна» и порта Лавна, поскольку пропадает необходимость заходить в порт Санкт-Петербурга. В будущем это уменьшит время и затраты на перевозки, что сделает путь конкурентоспособным относительно маршрутов №30 и №31.

Выводы

Резюмируя выполненное исследование, следует отметить необходимость развития транспортного коридора «Север-Юг» и его восточного направления. Всего получилось 39 маршрутов. Во всех маршрутах используются мультимодальные перевозки. Превалирует сочетание железнодорожного и морского видов транспорта.

Особо перспективным является строительство порта Лавна, железнодорожных участков станция «Выходной» – «Лавна» в Мурманске и участка Астара – Решт в Иране. Это приведет к увеличению эффективности транспортного коридора и высокой конкурентоспособности маршрутов №1 (вершины сетевого графика 1, 2, 3, 22 с наименованием географических мест Мурманск – ЖД станция «Выходной» – Порт Лавна – Коломбо), №14 (вершины 1, 4, 5, 9, 11, 13, 18, 22, география Мурманск – Санкт-Петербург – Астрахань – Баку – Тегеран – Порт Бендер-Аббас – Мумбаи – Коломбо) и №15 (вершины 1, 4, 5, 9, 11, 13, 18, 19, 20, 22, география Мурманск – Санкт-Петербург – Астрахань – Баку – Тегеран – Порт Бендер-Аббас – Мумбаи – Рамешварам – Талайманнар – Коломбо). На данный момент самыми оптимальными маршрутами являются пути №30 и №31, проходящие через вершины 1, 4, 18, 22 и 1, 4, 18, 19, 20, 22 по географическим точкам Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо и Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Рамешварам – Талайманнар – Коломбо.

Результаты исследования соответствуют поставленной цели, а именно были предложены новые и альтернативные пути, разработаны и выбраны оптимальные маршруты Мурманск – Санкт-Петербург – Мумбаи – Коломбо по критериям расстояния и времени.

Полученные результаты могут быть использованы, как теоретические основы в процессе разработки методов анализа интеллектуальных транспортных систем и компьютерных программ для управления транспортными процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев М.И., Кожанов Е.Н. Развитие международного мультимодального коридора «Север–Юг» и меры интеграции региональной транспортной инфраструктуры // Научный Вестник МГТУ ГА. 2024. Т. 27. №1. С. 28-42. DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-1-28-42.
2. Харланов А.С., Шерышева Е.И. Внешнеэкономические факторы транспортной стратегии стран диалога России-Индии-Китая // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков. 2023. С. 326-333.
3. Минеев В.И., Почкаев Д.А. Перегрузка международного транспортного коридора «Север–Юг» // Научные проблемы водного транспорта. 2022. №74. С. 105-116.
4. Скуфьина Т.П., Серова Н.А. Актуальные аспекты развития Мурманского транспортного узла // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2017. №5(72). С. 19-22.
5. Кравец А.С., Чеботарева Е.А. Развитие логистики перевозки зерна в железнодорожно-морском сообщении (на примере южного региона) // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2017. №3. С. 102-112.
6. Прокофьев М.Н., Тохиров М.М. Перспективы транспортного коридора «Север–Юг» // Мир транспорта. 2019. Т. 17. №5. С. 200-213.
7. Сорокалетова Е.И. Обновление состава флота РФ судами смешанного река-море плавания // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. №2. С. 286-295.
8. Гасанбеков С.К., Лубенец Н.А. Сетевое планирование как инструмент управления проектами // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2014. Т. 5. №1(19). С. 21-25.
9. Likaj R. et al. Application of graph theory to find optimal paths for the transportation problem // IFAC Proceedings Volumes. 2013. Т. 46. №8. С. 235-240.
10. Кибалов Е.Б., Кин А.А., Хуторецкий А.Б. Оценка эффективности крупномасштабных транспортных проектов // Регион: экономика и социология. 2012. №2. С. 161-187.
11. Королёв М.Е., Королёв Е.А., Никульшин Д.С. Управленческие решения в конфликтных ситуациях транспортных систем // Вести Автомобильно-дорожного института. 2018. №2. С. 12-18.
12. Смирнова Е.А., Нос В.А. Методы принятия решений в транспортной логистике с учетом закона распределения вероятностей // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2019. №3(67). С. 33-40.
13. Толстиков А.Н. Определение экономической эффективности логистического обслуживания при терминальном способе обработки грузов // Наука и современность. 2013. №20. С. 172-176.
14. Сиддигов И.Х., Порубай О.В. Принятие решений в условиях определенности и риска на основе строгих методов // Современные тенденции развития фундаментальных и прикладных наук. 2021. С. 208-214.
15. Лебедева Н.Г., Митричева С.Н. Планирование маршрута доставки груза в смешанном сообщении на основе сетевого графика // Научные труды Дальрыбвтуза. 2012. Т. 25. С. 75-82.

Жумалиева Саламат Жумалиевна

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Студент

E-mail: szhumalieva03@list.ru

Тимофеева Диана Алексеевна

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Студент

E-mail: diana70759@gmail.com

Малышев Максим Игоревич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

К.т.н., доцент кафедры «Менеджмент»

E-mail: dicorus@mail.ru

S.ZH. ZHUMALIEVA, D.A. TIMOFEEVA, M.I. MALYSHEV

THE NETWORK SCHEDULE OF CARGO TRANSPORTATION ON THE MURMANSK – ST. PETERSBURG - MUMBAI – COLOMBO ROUTE AND A COMPARATIVE ANALYSIS OF SEA ROUTES AND THE NORTH–SOUTH MULTIMODAL TRANSPORT CORRIDOR

Abstract. *The article discusses the Murmansk – St. Petersburg – Mumbai–Colombo route, the use of a network graph in the construction of routes and analysis of sea routes and the North-South multimodal transport corridor. New directions and their prospects are considered. For comparative analysis, criteria such as the Hurwitz criterion, the Laplace criterion and the Wald criterion based on time and distance indicators were used. The most optimal ways of transportation without taking into account cost indicators have been identified.*

Keywords: *North-South transport corridor, network schedule, multimodal transportation, route analysis, Murmansk – St. Petersburg – Mumbai – Colombo route, sea transportation, rail transportation*

BIBLIOGRAPHY

1. Malyshev M.I., Kozhanov E.N. Razvitie mezhdunarodnogo mul'timodal'nogo koridora «Sever-Yug» i mery integratsii regional'noy transportnoy infrastruktury // Nauchnyy Vestnik MGTU GA. 2024. T. 27. №1. S. 28-42. DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-1-28-42.
2. Harlanov A.S., Sherysheva E.I. Vneshneekonomicheskie faktory transportnoy strategii stran dialoga Rossii-Indii-Kitaya // Razvitie nauki i praktiki v global'no menyayushchemsya mire v usloviyakh riskov. 2023. S. 326-333.
3. Mineev V.I., Pochekaev D.A. Perezagruzka mezhdunarodnogo transportnogo koridora «Sever-Yug» // Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2022. №74. S. 105-116.
4. Skufina T.P., Serova N.A. Aktual'nye aspekty razvitiya Murmanskogo transportnogo uzla // Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike. 2017. №5(72). S. 19-22.
5. Kravets A.S., Chebotareva E.A. Razvitie logistiki perevozki zerna v zheleznodorozhno-morskom soobshchenii (na primere yuzhnogo regiona) // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2017. №3. S. 102-112.
6. Prokofev M.N., Tokhirov M.M. Perspektivy transportnogo koridora «Sever-Yug» // Mir transporta. 2019. T. 17. №5. S. 200-213.
7. Sorokaletova E.I. Obnovlenie sostava flota RF sudami smeshannogo reka-more plavaniya // Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. 2023. №2. S. 286-295.
8. Gasanbekov S.K., Lubenets N.A. Setevoe planirovanie kak instrument upravleniya proektami // Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI. 2014. T. 5. №1(19). S. 21-25.
9. Likaj R. et al. Application of graph theory to find optimal paths for the transportation problem // IFAC Proceedings Volumes. 2013. T. 46. №8. S. 235-240.
10. Kibalov E.B., Kin A.A., Hutoretskiy A.B. Otsenka effektivnosti krupnomasshtabnykh transportnykh proektov // Region: ekonomika i sotsiologiya. 2012. №2. S. 161-187.
11. Koroliov M.E., Koroliov E.A., Nikul'shin D.S. Upravlencheskie resheniya v konfliktnykh situatsiyakh transportnykh sistem // Vesti Avtomobil'no-dorozhnogo instituta. 2018. №2. S. 12-18.
12. Smirnova E.A., Nos V.A. Metody prinyatiya resheniy v transportnoy logistike s uchetom zakona raspredeleniya veroyatnostey // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta (RINH). 2019. №3(67). S. 33-40.
13. Tolstikov A.N. Opredelenie ekonomicheskoy effektivnosti logisticheskogo obsluzhivaniya pri terminal'nom sposobe obrabotki грузов // Nauka i sovremennost'. 2013. №20. S. 172-176.
14. Siddikov I.H., Porubay O.V. Prinyatie resheniy v usloviyakh opredelennosti i riska na osnove strogikh metodov // Sovremennye tendentsii razvitiya fundamental'nykh i prikladnykh nauk. 2021. S. 208-214.
15. Lebedeva N.G., Mitricheva S.N. Planirovanie marshruta dostavki gruzha v smeshannom soobshchenii na osnove setevogo grafika // Nauchnye trudy Dal'rybvtuza. 2012. T. 25. S. 75-82.

Zhumalieva Salamat Zhumalievna

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave., 64

Student

E-mail: szhumalieva03@list.ru

Timofeeva Diana Alekseevna

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave., 64

Student

E-mail: diana70759@gmail.com

Malyshev Maxim Igor'evich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64

Candidate of technical sciences

E-mail: dicorus@mail.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с требованиями
к оформлению научных статей.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70%), не опубликованным ранее в других печатных изданиях.
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

Введение

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

Материал и методы

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылаетесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

Теория / расчет

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

Результаты

Результаты должны быть четкими и краткими.

Обсуждение

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

Выводы

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - применять произвольные словообразования;
 - применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и сверху - 2 см.

Обязательные элементы:

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

- **аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

- **ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

- **список литературы** должен содержать не менее 20-ти источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строки, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:
 Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)
 Учреждение или организация
 Адрес
 Ученая степень, ученое звание, должность
 Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Пример оформления формулы в тексте

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 (1 + \frac{1}{2\alpha}) / d, \quad (1)$$

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 17.09.2024 г.

Дата выхода в свет 03.10.2024 г.

Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,4

Цена свободная. Тираж 500 экз.

Заказ № 186

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95