

ISSN 2073-7432

МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 2-3(89) 2025

Научно-технический
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 2-3(89) 2025

Мир транспорта и технологических машин

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

<p>Главный редактор: Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.</p> <p>Заместители главного редактора: Васильева В.В. канд. техн. наук, доц. Родимцев С.А. д-р техн. наук, доц.</p> <p>Редакция: Агеев Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия) Басков В.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия) Власов В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия) Глаголев С.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия) Демич М. д-р техн. наук, проф. (Сербия) Денисов А.С. д-р техн. наук, проф. (Россия) Евтюков С.А. д-р техн. наук, проф. (Россия) Жаковская Л. д-р. наук, проф. (Польша) Жанказиев С.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Захаров Н.С. д-р техн. наук, проф. (Россия) Зырянов В.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Маткеримов Т.Ы. д-р техн. наук, проф. (Кыргызстан) Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва) Пржибыл П. д-р техн. наук, проф. (Чехия) Пугачев И.Н. д-р техн. наук, доц. (Россия) Пушкарев А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия) Рассоха В.И. д-р техн. наук, проф. (Россия) Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия) Ризаева Ю.Н. д-р техн. наук, доц. (Россия) Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия) Трофименко Ю.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Трофимова Л.С. д-р техн. наук, доц. (Россия) Шарата А. д-р. наук, проф. (Польша)</p> <p>Ответственный за выпуск: Акимочкина И.В.</p> <p>Адрес редколлегии: 302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77 Тел. +79058566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru</p> <p>Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.</p> <p>Подписной индекс: 16376 по объединенному каталогу «Пресса России» на сайтах www.prima-rg.ru и www.akc.ru</p> <p>© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2025</p>	<h2>Содержание</h2> <p><i>Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте</i> А.А. Абросимова, А.Е. Пушкарев Корреляционно-регрессионный анализ влияния факторов внешней среды на аварийность 3 В.М. Курганов, М.В. Грязнов, А.Н. Дорофеев Уравнение Ферхюльста и нечёткая кластеризация в исследовании эволюции транспортных систем 10</p> <p><i>Управление процессами перевозок</i> М.В. Передерий, Л.В. Савкина, В.Е. Яркина Организация мультимодальных перевозок с участием автомобильного транспорта на основе логистических принципов 18 А.М. Фигичев, И.Д. Бешенцев Планирование регулярных пассажирских перевозок и перевозок пассажиров по заказу: сходства и различия 26 Е.В. Мирошников Применение теории нечетких множеств для принятия решений в перевозочном процессе 36</p> <p><i>Эксплуатация автомобильного транспорта</i> А.М. Щелудяков, М.Г. Бояришинов Аудио-идентификация транспортного средства 45 М. Хань, И.В. Топилин, В.В. Зырянов Исследование моделирования характеристик транспортных потоков на перегруженных участках дорог на основе реальных данных 55 Н.В. Поживилов, В.Е. Лаврин, В.М. Евarestов Методика нормирования массы лома цветных и черных металлов, образующихся при утилизации подвижного состава в автотранспортном предприятии 65 А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.Е. Карпов Опыт применения технической инноватики для создания новых узлов подвижного состава 73 С.А. Ляпин, Д.А. Кадасев, С.А. Дмитриев, Н.В. Воронин Организация одностороннего дорожного движения в центральной части города: преимущества, проблемы и практические аспекты 80 А.К. Погодаев, В.Э. Клявин, Г.С. Боровкова, С.В. Жихорева Оценка влияния элементов обустройства городских улиц на риски возникновения дорожно-транспортных происшествий 89 А.В. Игнатов, В.Н. Басков Оценка влияния подсистемы «водитель-среда» на безопасность дорожного движения 95 Е.А. Верительник, А.В. Калинин Применение нейронных сетей при диагностировании неисправностей автомобилей 105 Ю.А. Заяц, Р.В. Петухов Усечение спектра нагрузок (эксплуатационных режимов) при ускоренных испытаниях военной автомобильной техники 113 Р.В. Гринякин, С.В. Дорохин, Н.А. Загородный, А.С. Семькина Эксплуатация автомобилей при использовании технологий больших данных 120</p> <p><i>Интеллектуальные транспортные системы</i> О.Ю. Булатова, В.В. Зырянов Архитектура интегрированной транспортной системы с учётом социального компонента для обслуживания городских массовых мероприятий 128</p> <p><i>Логистические транспортные системы</i> М.А. Копылов Оптимизация методов планирования и управления перевозкой крупногабаритных грузов с помощью интегрированного программного обеспечения 138</p>
---	--

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

World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 2-3(89) 2025

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

<p><i>Editor-in-Chief</i> A.N. Novikov Doc.Eng., Prof</p> <p><i>Associates Editor</i> V.V. Vasileva Can. Eng. S.A. Rodimzev Doc. Eng.</p>	<h2>Contents</h2> <p><i>Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport</i></p>
<p><i>Editorial Board:</i> E.V. Ageev Doc. Eng., Prof. (Russia) I.E. Agureev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.N. Baskov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.M. Vlasov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.N. Glagolev Doc. Eng., Prof. (Russia) M. Demic Doc. Eng., Prof. (Serbia) A.S. Denisov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.A. Evtyukov Doc. Eng., Prof. (Russia) L. Żakowska Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland) S.V. Zhankaziev Doc. Eng., Prof. (Russia) N.S. Zaharov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.V. Zyryanov Doc. Eng., Prof. (Russia) T.Y. Matkerimov Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan) O. Prentkovskis Doc. Eng., Prof. (Lithuania) P. Pribyl Doc. Eng., Prof. (Czech Republic) I.N. Pugachev Doc. Eng. (Russia) A.E. Pushkarev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.I. Rassoha Doc. Eng., Prof. (Russia) A.N. Rementsov Doc. Edc., Prof. (Russia) Yu.N. Rizaeva Doc. Eng. (Russia) V.I. Sarbaev Doc. Eng., Prof. (Russia) Yu.V. Trofimenko Doc. Eng., Prof. (Russia) L.S. Trofimova Doc. Eng. (Russia) A. Szarata Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</p>	<p>A.A. Abrosimova, A.E. Pushkarev Correlation and regression analysis of the influence of environmental factors on accident rate..... 3 V.M. Kurganov, M.V. Gryaznov, A.N. Dorofeev The verhulst equation and fuzzy clustering in the study of the evolution transport systems..... 10</p> <p><i>Management of transportation processes</i></p> <p>M.V. Perederiy, I.V. Savkina, V.E. Yurkina Organization of multimodal transportation involving motor transport based on logistical principles..... 18 A.M. Figichev, I.D. Beshentsev Planning of regular passenger transportation and passenger transportation by order: similarities and differences..... 26 E.V. Miroshnikov The fuzzy set theory application to decision making in the logistics process..... 36</p> <p><i>Operation of motor transport</i></p> <p>A.M. Shcheludyakov, M.G. Boyarshinov Audio identification of the vehicle..... 45 M. Han, I.V. Topilin, V.V. Zyryanov Modeling of traffic flow characteristics on congested road sections based on real data study..... 55 N.V. pozhivilov, V.E. Lavrin, V.M. Evarestov Method of standardizing the mass of non-ferrous and ferrous metal scrap generated during the disposal of fleet in a transit agency..... 65 A.S. Kosmodamiansky, V.I. Vorobyov, O.V. Izmerov, A.E. Karpov Experience of applying technical innovation to create new components of rolling stock..... 73 S.A. Lyapin, D.A. Kadasev, S.A. Dmitriev, N.V. Voronin Organization of one-way traffic in the central part of the city: advantages, challenges and practical aspects..... 80 A.K. Pogodaev, V.E. Klyavin, G.S. Borovkova, S.V. Zhikhoreva Assessment of the impact of risks on the occurrence of road traffic accidents on the route in urban conditions..... 89 A.V. Ignatov, V.N. Baskov Evaluation of impact of the «driver-environment» subsystem on road safety..... 95 E.A. Veritelnik, A.V. Kalinin Using neural networks for vehicle fault diagnostics..... 105 Yu.A. Zayats, R.V. Petukhov Truncation of the load spectrum (operating modes) during accelerated testing of military vehicles 113 R.V. Grinyakin, S.V. Dorokhin, N.A. Zagorodny, A.S. Semykina Car operation using big data technologies..... 120</p>
<p><i>Person in charge for publication:</i> I.V. Akimochkina</p>	
<p><i>Editorial Board Address:</i> 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru</p>	
<p>The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФС77-67027 of August 30 2016</p>	
<p>Subscription index: 16376 in a union catalog «The Press of Russia» on sites www.pressa-rf.ru www.akc.ru</p>	
<p>© Registration. Orel State University, 2025</p>	<p><i>Intelligent transport systems</i></p> <p>O.Y. Bulatova, V.V. Zyryanov Integrated transport system architecture taking into account the social component for servicing urban mass events..... 128</p> <p><i>Logistic transport systems</i></p> <p>M.A. Kopylov Optimization of planning and management methods for the transportation of bulky goods using integrated software..... 138</p>

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

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

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-3-9

А.А. АБРОСИМОВА, А.Е. ПУШКАРЕВ

**КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ
ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА АВАРИЙНОСТЬ**

Аннотация. Одной из важнейших групп факторов, влияющих на аварийность, являются природно-климатические условия. Корреляционный анализ показал наличие связи между факторами внешней среды и количеством ДТП. Результаты линейного регрессионного анализа показывают высокий процент средней ошибки, превышающий 20 %. В ходе проведения нелинейного регрессионного анализа определены значимые факторы внешней среды для положительных и отрицательных температур. Построены полные факторные эксперименты и получены обобщенные многофакторные модели влияния факторов внешней среды на аварийность, позволяющие прогнозировать количество ДТП и осуществлять выбор оптимальной системы мероприятий, включающей виды, способы и длительность воздействий с целью обеспечения безопасных показателей дорожного покрытия.

Ключевые слова: аварийность, природно-климатические факторы, корреляционный и регрессионный анализ, полный факторный эксперимент

Введение

Природно-климатические условия, несомненно, являются одной из важнейших групп факторов, влияющих на дорожную аварийность. Их проявление носит случайный, провоцирующий характер, однако, на сегодняшний день имеются достаточно обширные базы данных по дорожно-транспортным происшествиям (ДТП) и дневникам погоды, в которых находится достоверная информация по случившимся событиям ДТП, математически обработав которую можно выявить соответствующие зависимости влияния погодных факторов на аварийные ситуации с целью возможного прогнозирования ДТП и, как следствие, выбора оптимальной системы мероприятий (информационные, организационные, технические и другие), включающей выбор способов, методов и длительности воздействий с целью достижения безопасных показателей дорожного покрытия [1], [2].

Материал и методы

В данной работе рассматриваются факторы аварийности, которые оказывают непосредственное влияние на состояние дорожного покрытия через проявления внешней среды. В качестве исходных данных используются официальные источники:

- данные из карточек ДТП по г. Санкт-Петербург за 2014-2024 гг. (stat.gibdd.ru);
- архив дневников погоды по г. Санкт-Петербург за 2014-2024 гг. (gismeteo.ru).

С целью проведения исследований и выявления зависимостей влияния природно-климатических факторов на ДТП в первую очередь отобраны месяцы, в которых внешняя среда проявляет себя наихудшим образом. К этим признакам относятся переходы температуры воздуха через 0, оттепели, сопровождающиеся гололедами, что ежегодно приводит к росту аварий в эти периоды [3]. Для Санкт-Петербурга это ноябрь, декабрь, февраль и март. В качестве исследуемых факторов среды выбраны:

- температура воздуха, °С;
- влажность воздуха, %;
- снег;
- дождь.

Здесь подразумевается именно факт наличия снега на момент ДТП, то есть «снег идет», «снег лежит» и «снег в процессе таяния». Влияние дождя исследуется в области по-

ложительных температур.

Для получения наиболее полной модели влияния факторов на аварийность при анализе официальной базы данных по ДТП за указанный период в качестве факторов внешней среды выбраны:

- режим работы (будни/выходные);
- время суток (с 06:00 до 18:00 учитывается как «день», с 18:00 до 06:00 – как «ночь»).

Целью данного исследования является выявление влияния каждого отдельного фактора на ДТП (корреляционный анализ), отбор значимых факторов и построение обобщенной многофакторной модели влияния факторов внешней среды на аварийность (регрессионный анализ) [4-7].

Для математической модели определены следующие допущения и ограничения:

1. Модель составляется для интервала температур, характерного для переходного периода (конкретные значения граничных температур определяются по результатам анализа статистики ДТП).

2. При разработке модели интервалы температур ниже 0°C и выше 0°C учитываются отдельно в связи с разным набором влияющих факторов.

3. Набор учитываемых факторов определяется информацией, содержащейся в официальных источниках: карточках ДТП и архивах дневников погоды.

4. Состояние подсистем В (водитель) и А (автомобиль) принимаются постоянными и учитываются как «прочие условия».

Гипотеза математической модели звучит следующим образом: существует связь между количеством ДТП и факторами внешней среды, проявляющимися на шкале температур; закономерности описываются регрессионными моделями, позволяющими оценить значимость каждого из факторов и их взаимного влияния.

На рисунке 1 представлены фрагменты таблиц с выходными данными для анализа в области отрицательных и положительных температур.

температура	снег (да- "1", нет - "0")	время суток (день- "1", ночь - "0")	режим работы (будни- "1", выходные - "0")	влажность	количество ДТП в одном дне
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y
-10	1	1	1	88	6
-10	1	0	1	87	9
-10	1	0	0	85	10
-10	0	1	1	84	10
-10	0	0	1	77	7
-10	0	0	0	77	7
-9	1	1	1	84	12
-9	1	1	0	81	14
-9	1	0	1	80	8
-9	1	0	0	81	13
-9	0	1	1	77	7
-9	0	1	0	88	7
-9	0	0	1	80	5
-9	0	0	0	81	5
-8	1	1	1	82	12
-8	1	1	0	75	18
-8	1	0	1	90	6
-8	1	0	0	87	9
-8	0	1	1	80	10

а

температура	снег (да- "1", нет - "0")	дождь (да- "1", нет - "0")	время суток (день- "1", ночь - "0")	режим работы (будни- "1", выходные- "0")	влажность	количество ДТП в одном дне
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	Y
0	0	1	1	1	93	12
0	0	1	0	1	88	6
0	0	1	0	0	95	5
0	1	0	1	1	84	9
0	1	0	1	0	87	7
0	1	0	0	1	87	5
0	1	0	0	0	82	6
0	0	0	1	1	82	8
0	0	0	1	0	78	7
0	0	0	0	1	81	6
0	0	0	0	0	77	6
1	0	1	1	1	87	10
1	0	1	1	0	87	5
1	0	1	0	1	87	7
1	0	1	0	0	91	6
1	1	0	1	1	86	8
1	1	0	1	0	86	8
1	1	0	0	1	86	5
1	1	0	0	0	89	8
1	0	0	1	1	80	8
1	0	0	1	0	85	4

б

Рисунок 1 – Факторы подсистемы «внешняя среда» и количество ДТП в области:

а – отрицательных температур ($-10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C}$);

б – положительных температур ($0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 10^{\circ}\text{C}$)

Расчет

Корреляционный анализ

Итак, к исследованию приняты следующие факторы: «температура воздуха», «влажность», «снег», «дождь», «режим работы», «время суток». Вычисление коэффициентов корреляции r между количеством ДТП и факторами внешней среды позволило выявить те, которые оказывают наиболее сильное влияние на аварийность и могут быть отобраны для построения многофакторной модели (рис. 2) [8].

	x1	x2	x3	x4	x5	y
x1	1,00					
x2	-0,05	1,00				
x3	0,02	0,02	1,00			
x4	-0,03	0,00	0,02	1,00		
x5	0,08	0,42	-0,04	0,05	1,00	
y	0,36	0,64	0,45	0,07	0,28	1,00

а

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	y
x1	1,00						
x2	-0,37	1,00					
x3	0,09	-0,36	1,00				
x4	0,03	0,06	0,00	1,00			
x5	0,04	0,04	0,05	-0,06	1,00		
x6	-0,13	0,14	0,40	-0,12	0,03	1,00	
y	0,40	-0,26	0,39	0,47	0,03	-0,29	1,00

б

Рисунок 2 – Коэффициенты корреляции r между количеством ДТП (y) и факторами внешней среды (x_1 - x_6) в области: а – отрицательных температур ($-10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C}$); б – положительных температур ($0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 10^{\circ}\text{C}$)

В обоих случаях все изучаемые факторы показали наличие заметной корреляционной связи с результативным признаком y (количество ДТП) за исключением фактора «режим работы» ($r = 0,07$ и $r = 0,03$), который из дальнейших исследований исключен. Следует отметить, что ни одна из пар факторов не коллинеарна между собой (не имеет тесной связи), что позволяет их использовать в дальнейших исследованиях. Значимую корреляцию так же дает фактор «точка росы», однако, при проведении корреляционного анализа этот параметр показывает наличие тесной связи с температурой и влажностью, так как однозначно вычисляется по конкретным данным этих показателей. В связи с этим фактор «точка росы» исключен из анализа на первом этапе исследований.

Следующий этап исследования – проведение регрессионного анализа при отрицательных и положительных температурах с целью выявления значимых факторов внешней среды и построения многофакторных прогнозных моделей.

Линейный регрессионный анализ. Область отрицательных температур

На данном этапе выдвинута нулевая гипотеза (H_0) о наличии линейной связи между факторами внешней среды и количеством ДТП ($Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_5X_5$) [8-12].

Для определения значимых факторов среды и значимости уравнения регрессии в целом выдвинуты и проверены нулевые гипотезы о равенстве отдельных коэффициентов уравнения и коэффициента детерминации 0 ($a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = 0, a_3 = 0, a_5 = 0, R^2 = 0$). Анализ показал, что значимыми факторами внешней среды в области отрицательных температур являются «температура воздуха», «наличие снега» и «влажность». Фактор «время суток» оказался статистически не значимым в связи с высокой вероятностью ошибки I рода. Уравнение регрессии так же статистически значимо при уровне значимости 5 % (значимость $F = 1,917 \cdot 10^{-17}$). Однако, несмотря на выявление значимости модели по критерию Фишера, значимости отдельных коэффициентов уравнения по критерию Стьюдента и наличие заметной связи между Y и факторами внешней среды ($R^2 = 0,64$), расчет средней ошибки показал значение, превышающее 20 %. Это говорит о нецелесообразности применения линейной модели регрессии. Следует провести нелинейный регрессионный анализ, учитывающий взаимное влияние факторов среды на аварийность.

Линейный регрессионный анализ. Область положительных температур

Линейный регрессионный анализ в области положительных температур подтвердил необходимость проведения нелинейного регрессионного анализа [8-12].

В данном случае значимыми оказались именно природно-климатические факторы («температура воздуха», «дождь» и «влажность»). При значимости линейной модели (значимость $F = 4,973 \cdot 10^{-9}$), отдельных коэффициентов регрессии и $R^2 = 0,58$ процент средней ошибки так же превышает 20 %. Для построения зависимостей ДТП от факторов внешней

среды в области положительных температур необходимо так же учитывать и их взаимное влияние на аварийность.

Нелинейный регрессионный анализ. Область отрицательных и положительных температур

В ходе проведения нелинейного регрессионного анализа в области отрицательных температур ($Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_5X_5 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{15}X_1X_5 + a_{23}X_2X_3 + a_{25}X_2X_5 + a_{35}X_3X_5$) выявлены значимые факторы внешней среды и их комбинации [8-12].

Таковыми являются «температура воздуха», взаимное влияние факторов «температура воздуха» и «снег», «температура воздуха» и «влажность».

В области же положительных температур значимыми являются «температура воздуха», «дождь», «влажность» и их парные комбинации.

В обоих случаях (при $T \leq 0$ и $T \geq 0$) полученные уравнения регрессии и отдельные коэффициенты статистически значимы (значимость $F_{T \leq 0} = 6,732 \cdot 10^{-17}$ и $F_{T \geq 0} = 7,222 \cdot 10^{-15}$), изменение Y (количество ДТП) в более, чем 70 % случаев может быть описано изменениями факторов среды ($R^2 = 0,74$ для $T \leq 0$ и $R^2 = 0,71$ для $T \geq 0$), процент средней ошибки является допустимым и не превышает 15 %.

Обсуждение

Полученные результаты говорят о том, что нелинейные модели регрессии можно использовать как прогнозные, однако в регрессионной модели факторы «снег» и «дождь» учитывались по их фактическому проявлению (наличие снега, дождя – 1, отсутствие снега и дождя во время ДТП – 0), то есть в бинарной форме. Так как фактор «осадки» в модели регрессии оказался значимым, далее строим полный факторный эксперимент в области отрицательных и положительных температур, и фактор «осадки» теперь учитывается в виде вероятности выпадения осадков, которая всегда присутствует в прогнозе погоды.

Полный факторный эксперимент ПФЭ 2³. Область отрицательных температур

В качестве факторов, оказывающих влияние на аварийность, выбраны значимые из нелинейного регрессионного анализа:

z_1 – температура воздуха, °C, $z_1^- = -10$, $z_1^+ = 0$;

z_2 – влажность воздуха, %, $z_2^- = 68$, $z_2^+ = 95$;

z_3 – вероятность осадков (дождь/снег), %, $z_3^- = 0$, $z_3^+ = 100$.

Исходная матрица планирования и кодирование факторов показаны в таблицах 1 и 2 [13-16].

Таблица 1 – Исходная матрица планирования

№ эксп.	Изучаемые факторы			Результаты опытов		
	z_1	z_2	z_3	y_1	y_2	y_3
1	+	+	+	26	28	32
2	–	+	+	15	13	14
3	+	–	+	18	21	14
4	–	–	+	13	12	16
5	+	+	–	30	31	34
6	–	+	–	9	6	10
7	+	–	–	12	14	13
8	–	–	–	12	8	9

Таблица 2 – Кодирование факторов

Факторы	Верхний уровень z_i^+	Нижний уровень z_i^-	Центр z_i^0	Интервал варьирования λ_i	Зависимость кодированной переменной от натуральной
температура z_1	0	-10	-5	5	$x_1 = (z_1 - (-5)) / 5$
влажность z_2	95	68	81,5	13,5	$x_2 = (z_2 - 81,5) / 13,5$
вероятность снега z_3	100	0	50	50	$x_3 = (z_3 - 50) / 50$

Вычисленные коэффициенты уравнения регрессии представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты уравнения регрессии

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
17,25	5,75	3,5	1,5	4	-1	-0,75	-1,125

Проверка нулевых гипотез о статистической значимости отдельных коэффициентов (критерий Стьюдента) и уравнения в целом (критерий Фишера) показала значимость всех коэффициентов уравнения за исключением коэффициента b_{23} и подтвердила адекватность самого уравнения ($F_{\text{расч}} = 2,4 < F_{\text{табл}} = 4,49$).

Обобщенная многофакторная прогнозная модель влияния совокупности факторов подсистемы «внешняя среда» на количество ДТП в области отрицательных температур в натуральных переменных имеет вид:

$$\text{ДТП}_{T \leq 0} = 29,25 - 4,78T + 0,64W + 0,13PoP + 0,075TW + 0,016TPoP - 0,0003TWPoP, \quad (1)$$

где T – температура воздуха, °C ($-10^\circ\text{C} \leq T \leq 0^\circ\text{C}$);

W – относительная влажность воздуха, %;

PoP – вероятность осадков (Probability of precipitation), %.

Полный факторный эксперимент ПФЭ 2^3 . Область положительных температур

В качестве факторов, оказывающих влияние на аварийность, выбраны значимые из нелинейного регрессионного анализа:

z_1 – температура воздуха, °C, $z_1^- = 0$, $z_1^+ = 10$;

z_2 – влажность воздуха, %, $z_2^- = 67$, $z_2^+ = 95$;

z_3 – вероятность осадков (дождь/снег), %, $z_3^- = 0$, $z_3^+ = 100$.

Исходная матрица планирования и кодирование факторов показаны в таблицах 4 и 5 [13-16].

Таблица 4 – Исходная матрица планирования

№ эксп.	Изучаемые факторы			Результаты опытов		
	z_1	z_2	z_3	y_1	y_2	y_3
1	+	+	+	18	16	17
2	–	+	+	32	31	33
3	+	–	+	9	9	11
4	–	–	+	26	26	28
5	+	+	–	7	6	7
6	–	+	–	8	8	6
7	+	–	–	27	27	27
8	–	–	–	13	12	13

Таблица 5 – Кодирование факторов

Факторы	Верхний уровень z_i^+	Нижний уровень z_i^-	Центр z_i^0	Интервал варьирования λ_i	Зависимость кодированной переменной от натуральной
температура z_1	10	0	5	5	$x_1 = (z_1 - 5)/5$
влажность z_2	95	67	81	14	$x_2 = (z_2 - 81)/14$
вероятность снега z_3	100	0	50	50	$x_3 = (z_3 - 50)/50$

Вычисленные коэффициенты уравнения регрессии представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Коэффициенты уравнения регрессии

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
17,75	-2,5	1,5	4	1,75	5,75	-4,75	2,125

Проверка нулевых гипотез о статистической значимости отдельных коэффициентов (критерий Стьюдента) и уравнения в целом (критерий Фишера) показала значимость всех коэффициентов уравнения и подтвердила адекватность самого уравнения ($F_{\text{расч}} = 1,26 < F_{\text{табл}} = 4,49$).

Обобщенная многофакторная прогнозная модель влияния совокупности факторов подсистемы «внешняя среда» на количество ДТП в области положительных температур в натуральных переменных имеет вид:

$$\text{ДТП}_{T \geq 0} = 26,75 + 2,68T - 0,16W - 0,11PoP - 0,05TW - 0,03TPoP + 0,004WPoP + 0,001TWPoP, \quad (2)$$

где T – температура воздуха, °C ($0^\circ\text{C} \leq T \leq 10^\circ\text{C}$);

W – относительная влажность воздуха, %;

PoP – вероятность осадков (Probability of precipitation), %.

Выводы

1. Корреляционный анализ показал наличие заметной связи между факторами внешней среды и аварийностью за исключением фактора «режим работы».
2. Линейный регрессионный анализ при статистической значимости коэффициентов регрессии и модели в целом для двух областей температур показал высокий процент средней ошибки, что говорит о целесообразности проведения нелинейного регрессионного анализа.
3. Нелинейный регрессионный анализ позволил отобрать значимые факторы внешней среды, которыми являются именно природно-климатические: «температура воздуха», «снег», «дождь», «влажность».
4. Построены полные факторные эксперименты и получены обобщенные многофакторные модели влияния факторов внешней среды на аварийность, позволяющие прогнозировать количество ДТП и научно обосновывать выбор оптимальной системы мероприятий, включающей виды, способы и длительность воздействий с целью обеспечения безопасных показателей дорожного покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимова А.А., Пушкарев А.Е., Виноградова Т.В., Жуковская Т.О. Оценка влияния природно-климатических факторов на вероятность дорожно-транспортных происшествий в межсезонье // Вестник гражданских инженеров. №3 (104). 2024. С. 105-110. DOI: 10.23968/1999-5571-2024-21-3-105-110.
2. Абросимова А.А., Пушкарев А.Е., Виноградова Т.В., Дружинин П.В. Анализ роли климатических факторов в системе «водитель-автомобиль-дорога-среда» // Грузовик. № 3. 2024. С. 32-37. DOI: 10.36652/1684-1298-2024-3-32-37.
3. Биндина В.В. Влияние неблагоприятных метеоявлений на риск возникновения транспортных происшествий // Молодой учёный. 2020. №3(293). С. 30-32.
4. Елисеев М.Е., Мазунова Л.Н., Елисеева И.Н. Статистический и корреляционный анализ погодных факторов в интерактивной информационной системе повышения безопасности дорожного движения // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2020. №2 (129). С. 28-41. DOI: 10.46960/1816-210X_2020_2_28.
5. Елисеев М.Е., Репников А.А., Блинов А.С., Липенков А.В. О критериях для определения аварийно-опасных сочетаний погодных факторов // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №1(60). С. 121-126. EDN: XMPWQX.
6. Елисеев М.Е., Кузьмин Н.А., Репников А.А. Подсистема анализа погодных факторов интерактивной карты аварийности // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2016. №2. С. 124-127. EDN: XRYXJD.
7. Ширяева А.В. Метеорологические условия функционирования автотранспорта на территории Москвы и Московской области // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. №6. С. 94-101.
8. Леман Э. Проверка статистических гипотез. М.: Наука. 1979, 408 с.
9. Бутакова М.М. Экономическое прогнозирование: методы и приемы практических расчетов: учеб. пособие. 2-е изд., испр. М.: КНОРУС, 2010. 168 с.
10. Ванин В.А., Однолько В.Г., Пестрецов С.И., Фидаров В.Х., Колодин А.Н. Научные исследования в технологии машиностроения: учеб. пособие. Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. 232 с.
11. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.
12. Ферстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа: руководство для экономистов.
13. Белова Н.В., Малинина О.А. Применение полного факторного эксперимента при измерении параметров газового потока // Молодой ученый. 2010. №4(15). С. 65-70.
14. Медведков Д.И. Полный факторный эксперимент в исследовании работы блока управления проезда перекрестка беспилотным транспортным средством // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. №4. С. 669-676. DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-669-676.
15. Гайдадин А.Н., Ефремова С.А. Применение полного факторного эксперимента при проведении исследований. Волгоград: ВолгГТУ. 2008. 16 с.
16. Мухачев В.А. Планирование и обработка результатов экспериментов. Томск: ТГУ СУР. 2007. 118 с.

Абросимова Анжелика Анатольевна

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4
К.т.н., доцент кафедры наземных транспортно-технологических машин
E-mail: anzhelicka.abrosimova@yandex.ru

Пушкарёв Александр Евгеньевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Д.т.н., профессор кафедры наземных транспортно-технологических машин

E-mail: pushkarev-agn@mail.ru

A.A. ABROSIMOVA, A.E. PUSHKAREV

CORRELATION AND REGRESSION ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON ACCIDENT RATE

Abstract. One of the most important groups of factors influencing accidents are natural and climatic conditions. Correlation analysis showed the existence of a connection between environmental factors and the number of accidents. The results of the linear regression analysis show a high percentage of average error, exceeding 20%. During the nonlinear regression analysis, significant environmental factors for positive and negative temperatures were determined. Complete factorial experiments were constructed and generalized multifactorial models of the influence of environmental factors on accidents were obtained, allowing one to predict the number of accidents and select the optimal system of measures, including types, methods and duration of impacts in order to ensure safe road surface indicators.

Keywords: accident rate, natural-climatic factors, correlation and regression analysis, full factor experiment

BIBLIOGRAPHY

1. Abrosimova A.A., Pushkarev A.E., Vinogradova T.V., Zhukovskaya T.O. Otsenka vliyaniya prirodno-klimaticheskikh faktorov na veroyatnost' dorozhno-transportnykh proissheshtviy v mezhsezon'e // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. №3 (104). 2024. S. 105-110. DOI: 10.23968/1999-5571-2024-21-3-105-110.
2. Abrosimova A.A., Pushkarev A.E., Vinogradova T.V., Druzhinin P.V. Analiz roli klimaticheskikh faktorov v sisteme "voditel'-avtomobil'-doroga-sreda" // Gruzovik. № 3. 2024. S. 32-37. DOI: 10.36652/1684-1298-2024-3-32-37.
3. Bindina V.V. Vliyaniye neblagopriyatnykh meteoyavleniy na risk vozniknoveniya transportnykh proissheshtviy // Molodoy uchionyy. 2020. №3(293). S. 30-32.
4. Eliseev M.E., Mazunova L.N., Eliseeva I.N. Statisticheskii i korrelyatsionnyy analiz pogodnykh faktorov v interaktivnoy informatsionnoy sisteme povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. 2020. №2 (129). S. 28-41. DOI: 10.46960/1816-210X_2020_2_28.
5. Eliseev M.E., Repnikov A.A., Blinov A.S., Lipenkov A.V. O kriteriyakh dlya opredeleniya avariynopasnykh sochetaniy pogodnykh faktorov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №1(60). S. 121-126. EDN: XMPWQX.
6. Eliseev M.E., Kuz'min N.A., Repnikov A.A. Podсистема analiza pogodnykh faktorov interaktivnoy karty avariynosti // Intellect. Innovatsii. Investitsii. 2016. №2. S. 124-127. EDN: XRYXJD.
7. Shiryayeva A.V. Meteorologicheskie usloviya funktsionirovaniya avtotransporta na territorii Moskvy i Moskovskoy oblasti // Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2016. №6. S. 94-101.
8. Leman E. Proverka statisticheskikh gipotez. M.: Nauka. 1979, 408 s.
9. Butakova M.M. Ekonomicheskoe prognozirovanie: metody i priemy prakticheskikh raschetov: ucheb. posobie. 2-e izd., ispr. M.: KNORUS, 2010. 168 s.
10. Vanin V.A., Odnol'ko V.G., Pestretsov S.I., Fidarov V.H., Kolodin A.N. Nauchnye issledovaniya v tekhnologii mashinostroeniya: ucheb. posobie. Tambov: Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2009. 232 s.
11. Dreyper N., Smit G. Prikladnoy regressionnyy analiz: V 2-kh kn. Kn. 1. Per. s angl. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Finansy i statistika, 1986. 366 s.
12. Ferster E. Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza: rukovodstvo dlya ekonomistov.
13. Belova N.V., Malinina O.A. Primenenie polnogo faktornogo eksperimenta pri izmerenii parametrov gazovogo potoka // Molodoy uchenyy. 2010. №4(15). S. 65-70.
14. Medvedkov D.I. Polnyy faktornyy eksperiment v issledovanii raboty bloka upravleniya proezda perekrestka bespilotnym transportnym sredstvom // Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. 2018. T. 18. №4. S. 669-676. DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-669-676.
15. Gaydadin A.N., Efremova S.A. Primenenie polnogo faktornogo eksperimenta pri provedenii issledovaniy. Volgograd: VolgGTU. 2008. 16 s.
16. Mukhachev V.A. Planirovanie i obrabotka rezul'tatov eksperimentov. Tomsk: TGU SUR. 2007. 118 s.

Abrosimova Anzhelika Anatolyevna

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 190005, Russia, St. Petersburg

Candidate of Technical Sciences

E-mail: anzhelicka.abrosimova@yandex.ru

Pushkarev Alexander Evgenyevich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 190005, Russia, St. Petersburg

Doctor of Technical Sciences

E-mail: pushkarev-agn@mail.ru

УДК 656.135

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-10-17

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

УРАВНЕНИЕ ФЕРХЮЛЬСТА И НЕЧЁТКАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭВОЛЮЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Анотация. В статье рассмотрены эволюционные этапы транспортных систем методами историко-генетического анализа, индукции, дедукции, абдукции, математического моделирования и нечёткой логики. Проведен анализ концепции "четырёх логистических революций" с точки зрения соответствия фактографическому материалу, обоснованности географической локализации и хронологических границ. Выделено восемь эволюционных этапов транспортных систем и дано формализованное описание с использованием уравнения Ферхюльста. Описано десять групп факторов, определяющих процессы эволюции. Показано, множества и подмножества факторов имеют размытые границы, взаимные пересечения и могут исследоваться методами нечёткой кластеризации.

Ключевые слова: логистическая революция, эволюционные этапы, транспортные системы, уравнение Ферхюльста, нечёткая логика, нечёткие множества

Введение

Изложение на русском языке исследования динамики транспортных систем с использованием формальных методов впервые, по-видимому, было представлено в монографии, посвященной синергетическим процессам в экономике [1]. Автор монографии основывался на концепции "четырёх логистических революций" [2], впоследствии получившей некоторое развитие [3]. Несколько позже появилась обобщающая статья, в которой первоначальные представления об эволюции транспортных систем были несколько дополнены [4]. Эволюция транспортных систем в рассмотренных публикациях представлена, начиная с XI в. и до современности.

Использование абдуктивного метода для исследования концепции "четырёх логистических революций" приводит к выводу, что она требует уточнения и дополнения. Во-первых, концепция географически ограничивается, в основном, территорией Западной Европы и, отчасти, Северной Америки. Во-вторых, не в полной мере обоснованы хронологические границы каждого из этапов. В-третьих, не учтен весь комплекс факторов, обеспечивших динамику транспортных систем

Целью исследования является выявление эволюционных этапов транспортных систем, выявление факторов, определяющих их динамику, разработку математической модели.

Материал и методы

Использовались следующие методы исследования: историко-генетический метод, индукция, дедукция и абдукция, математическая модель динамики экономических систем Пьера Ферхюльста, теория нечётких множеств. Материалом исследования является совокупность исторических фактов, характеризующих динамику транспортных систем на протяжении развития цивилизации.

Теория

Теоретическое исследование динамики транспортных систем

Если рассмотреть в ретроспективе развитие цивилизации, то, используя историко-генетический метод, методы дедукции и индукции, а также имеющийся фактографический материал, можно выделить восемь эволюционных этапов транспортных систем.

© В.М. КУРГАНОВ, М.В. ГРЯЗНОВ, А.Н. ДОРОФЕЕВ, 2025

Начало развития транспортных систем следует связать с переходом человечества от присваивающего хозяйства к производящему, который в Месопотамии произошел в IX в. до н.э. [5].

Тогда начала формироваться экономика и появился прибавочный продукт, ставший предметом обмена, как первой формы торговых отношений. Обмен и торговля сделали необходимыми перемещение товаров на значительные расстояния. В эпоху неолита появились колесные повозки с тягловыми животными и парусные суда.

Транспортные системы бронзового века сложились в государствах, появившихся в Средиземноморье, а также в долинах крупных рек. Морские связи государств Месопотамии обеспечивали торговлю с народами, жившими на побережье Персидского залива и Аравийского моря и достигали в конце III тысячелетия до н. э. хараппской цивилизации в долине Инда на территории современных Индии и Пакистана [6]. Процветание большинства государств Восточного Средиземноморья прекратилось, когда «народы моря» в начале XII в. до н.э. осуществили вторжение на эти территории [7] ("катастрофа бронзового века").

Транспортные системы античности характерны, в первую очередь, процессами колонизации побережья Средиземного и Черного морей финикийцами, начиная с XII в. до н.э. [7], и греками (эллинами) [7] после VIII в. до н.э. [8]. Римлянам принадлежит самый известный пример строительства наземных путей сообщений Древнего мира — римская сеть дорог. Упадок Западной Римской империи начался после варварского нашествия, знаковым событием которого стало взятие Рима вестготами в 410 г. [9]. Транспортное сообщение стран Европы по морю почти прекратилось [10].

Формирование трансевразийской транспортной системы привело к возникновению устойчиво функционировавшего на протяжении столетий глобального торгового маршрута, связавшего народы Европы, Центральной Азии, арабского востока и Юго-Восточной Азии. Великий Шёлковый путь представляет собой самый грандиозный пример сети наземных, речных и морских путей сообщений древности [11].

Океанские транспортные системы формировались в период, который обычно называют эпохой Великих географических открытий, когда сложились колониальные владения европейских государств. Захват Османской империей Константинополя в 1453 г. привел к тому, что выход европейцев через проливы Босфор и Дарданеллы на восточные рынки был перекрыт. В поисках источников восточных товаров для европейского рынка на первое место выдвинулись Испания и Португалия, имевшие открытый выход в Атлантический океан.

Прекратилась монополия на морскую логистику Ганзейского союза, а также итальянских купеческих городов-республик [12]. Потерял свое значение Великий Шёлковый путь. Морская торговля переросла в океанскую. Резко увеличились объемы товарных потоков.

Транспортные системы индустриального перехода начали формироваться после изобретения парового двигателя и его использования на водном и железнодорожном транспорте. Изобретение двигателя внутреннего сгорания привело к тому, что уже в 1896 г. был сконструирован первый грузовой автомобиль. Бензиновый двигатель сделал возможным изобретение самолета. Уже в 1920-30 гг., спустя короткое время после своего изобретения, самолеты использовались для доставки срочных грузов, сначала почты, а затем и других.

Транспортные системы глобальной экономики создавались в несколько этапов. В 1869 г. состоялось открытие Суэцкого канала. В 1920 г. открылся для судоходства Панамский канал. В 1935 г. состоялся первый грузовой рейс за одну навигацию двух торговых судов по Северному морскому пути из Ленинграда во Владивосток. После ввода в 1905 г. Кругобайкальской дороги появилась возможность сквозного железнодорожного сообщения по Транссибирской магистрали без использования паромных переправ от побережья Атлантического океана до берегов Тихого океана. В 1956 г. впервые была реализована система мультимодальных контейнерных перевозок. Использование укрупненных грузовых единиц оказалось настолько эффективным, что получило название "контейнерной и пакетной революции".

Интеллектуальная логистика имеет три основных источника своего развития: 1) использование математических моделей и методов; 2) прогресс в создании недорогой и производительной электронно-вычислительной техники; 3) технические средства и технологии коммуникации. В настоящее время интеллектуальная логистика объединяет методы оптимизации, различные классы информационных систем управления предприятиями и транспортными потоками, спутниковую навигацию и мониторинг, "интернет вещей" на основе технологии RFID, организацию взаимоотношений покупателей, продавцов и поставщиков в e-commerce, роботы для выполнения складских операций, беспилотные транспортные средства для наземных, водных и воздушных перевозок, решения с использованием искусственного интеллекта и обучающихся нейросетей.

Результаты и обсуждение

Для формального описания динамики транспортных систем предлагается использовать модель Пьера Ферхюльста [13]. Поскольку "Ферхюльст получил первое динамическое уравнение в экономической теории", то это "позволяет считать его одним из основателей экономической динамики" [14].

Представляет интерес использование модели Ферхюльста для описания эволюции самоорганизующихся систем во времени и пространстве [15], поскольку эволюция транспортных систем является одним из примеров самоорганизации в экономической и социальной среде.

Одна из распространенных моделей Ферхюльста [16] имеет вид:

$$\frac{dy}{dx} = qy\left(1 - \frac{y}{Q}\right). \quad (1)$$

Решение дифференциального уравнения первого порядка находится следующим образом:

$$y(x) = \frac{Qy_0 e^{qx_0}}{Q + y_0 (e^{qx_0} - 1)}, \quad (2)$$

где y - объем грузовых потоков с использованием технологий эволюционного этапа транспортных систем, в натуральном или стоимостном измерении или в условных единицах;

Q - максимально возможный объем грузовых потоков с использованием технологий эволюционного этапа транспортных систем, в натуральном или стоимостном измерении или в условных единицах;

y_0 - начальный объем грузовых потоков (в начале эволюционного этапа транспортных систем), в натуральном или стоимостном измерении или в условных единицах;

q - скорость роста объема грузовых потоков в единицу времени;

x - время;

e - основание натурального логарифма.

Графически решение уравнения Ферхюльста выглядит в виде кривой, имеющей три участка, заметно выделяющихся по своему характеру (рис. 1).

На первом участке происходит медленный подъем, который можно объяснить постепенным накоплением потенциала для взрывного роста на последующем участке. Третий участок характеризуется исчерпанием ранее сформированного потенциала и постепенным снижением интенсивности ро-

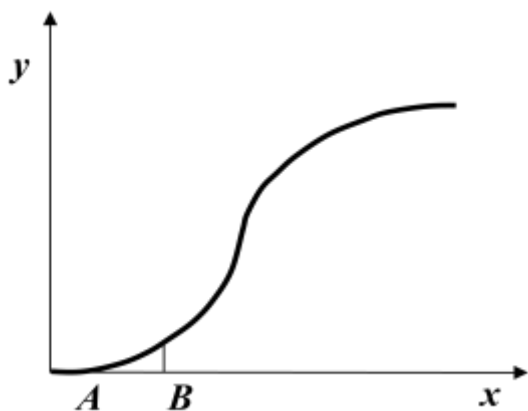


Рисунок 1 — Динамика эволюционного этапа транспортных систем. Координатные оси: x - время; y - объем грузовых потоков в натуральном или стоимостном измерении или в условных единицах

ста с приближением к некоторому максимально возможному предельному значению.

Дальнейшее развитие эволюционного этапа может происходить по одному из двух сценариев. По первому сценарию, к отрицательной динамике приводит либо исчерпание накопленного потенциала, либо действие факторов внешней и внутренней среды, либо совокупное воздействие всех или ряда названных условий. Пропускная способность транспортной системы снижается и падает результирующий показатель - объем перевозимых грузов (рис. 2).

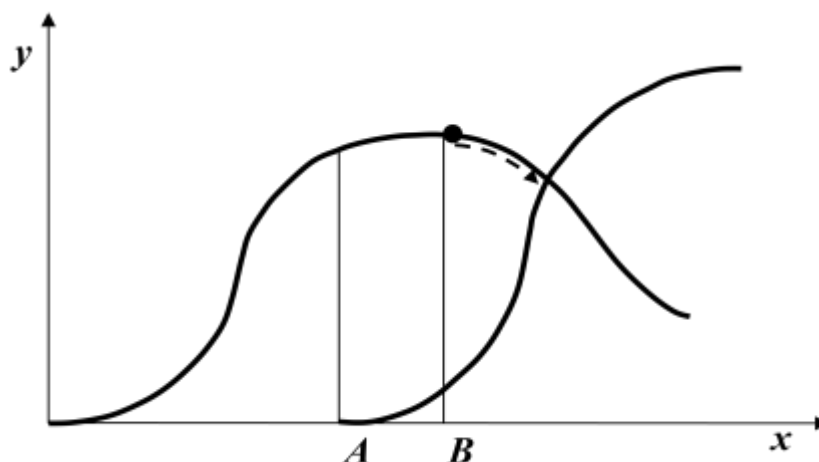


Рисунок 2 — Смена эволюционных этапов транспортных систем по первому типу (от логистики бронзового века к логистике античности; от логистики античности к формированию трансъевразийской логистики Великого шёлкового пути; от логистики Великого шёлкового пути к океанской логистике). Координатные оси: x - время; y - объем грузовых потоков в натуральном или стоимостном измерении или в условных единицах

На графике (рис. 2) начало падения объема перевозимых грузов и деградации транспортной системы выделено пунктирной стрелкой от точки на максимально высоком участке кривой Ферхюльста. При этом надо учитывать, что воздействие факторов внешней и внутренней среды может оказаться критичным на любом участке кривой, а не обязательно на самом высоком.

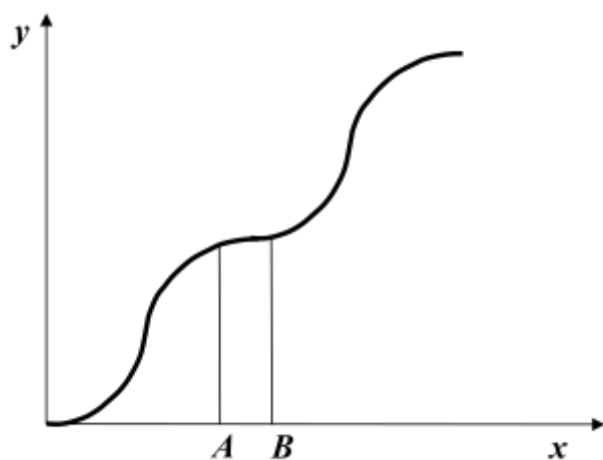


Рисунок 3 — Смена эволюционных этапов транспортных систем по второму типу (от океанской логистики к логистике индустриального перехода и к глобальной логистике; от глобальной логистики к интеллектуальной логистике). Координатные оси: x - время; y - объем грузовых потоков в натуральном или стоимостном измерении или в условных единицах

Фактологический анализ смены эволюционных этапов транспортных систем показывает, что по первому типу (Рис. 2) происходила, например, смена транспортных систем бронзового века процессами средиземноморской колонизации ранней и классической античности в результате "катастрофы бронзового века". Имеются также другие примеры первого типа смены эволюционных этапов. В результате варварского завоевания и крушения Западной Римской империи деградировали средиземноморские морские коммуникации, но продолжал развиваться Великий Шелковый путь, представлявший собой мощную сеть взаимосвязанных наземных, речных и морских маршрутов. После турецкого завоевания Константинополя оказался перерезанным Великий Шелковый путь и стали развиваться океанские транспортные системы, сначала усилиями Португалии и Испании, а затем и

других европейских стран.

Первый сценарий смены эволюционных этапов транспортных систем не является обязательным. Фактографический материал показывает возможность второго типа перехода от одного эволюционного этапа к другому (Рис. 3). Например, при возникновении глобальной логистики не происходило деградации океанской логистики. Наоборот, океанские транспортные системы стали основой глобализации и приобрели, в итоге, новое качество. Точно также логистика индустриального перехода, в результате которой появились новые транспортные средства и новые виды транспортной инфраструктуры, например, железнодорожные и автомобильные дороги, не сопровождалась снижением роли океанских транспортных систем.

Особый интерес представляют зоны А-В на графиках, соответствующие начальным и завершающим участкам кривых Ферхюльста. В этих зонах перекрываются смежные эволюционные этапы. Это значит, что факторы, в силу воздействия которых происходит деградация предшествующего эволюционного этапа, действуют одновременно с факторами, обеспечивающими накопление потенциала для последующего резкого подъема кривой, характеризующей динамику следующего эволюционного этапа.

Математически это явление может быть описано в терминах теории множеств:

$$F_i \cap F_{i+1}; \quad (3)$$

$$E_i, P_i, D_i, S_i, N_i, Tch_i, G_i, Tm_i, I_i, L_i \in F_i; \quad (4)$$

$$E_{i+1}, P_{i+1}, D_{i+1}, S_{i+1}, N_{i+1}, Tch_{i+1}, G_{i+1}, Tm_{i+1}, I_{i+1}, L_{i+1} \in F_{i+1}, \quad (5)$$

где i и $i+1$ - индексы принадлежности исследуемых факторов к предыдущему и последующему эволюционным этапам транспортных систем;

F_i - множество факторов, определяющих динамику i -го эволюционного этапа;

F_{i+1} - множество факторов, определяющих динамику $(i+1)$ -го эволюционного этапа;

E - подмножество экономических факторов, включая развитие производственной деятельности и торговли, создание новых концепций и методик управления экономической деятельностью, финансовые условия кредитования, создание новых и исчезновение старых рынков готовой продукции и ресурсов, соотношения спроса и предложения на рынках товаров и услуг, валютные курсы и т.д.;

P - подмножество политических факторов, включая, в т.ч. факторы военно-политического характера, тип и структура государственного управления, направленность к межгосударственной интеграции или политической автономии, а также и другие факторы;

D - подмножество демографических факторов, включая рождаемость, смертность, миграционные процессы и т.д.;

S - подмножество социально-культурных факторов, включая религию, ценностные предпочтения, традиции, деятельность средств массовой информации и т.д.;

N - подмножество природно-климатических факторов (извержения вулканов и другие стихийные бедствия, колебания климата и др.);

Tch - подмножество факторов, связанных с выполнением НИОКР и, в целом, с развитием науки, техники и технологий;

G - подмножество географических факторов, включая близость к морю, характер местности, наличие географических объектов, удобных для прокладки маршрутов, создания опорных пунктов логистики и контроля товарных потоков;

Tm - подмножество факторов, связанных с выбором времени для принятия и реализации решений, например, с целью проникновения на товарные рынки, прокладки новых маршрутов, вложения ресурсов в создание инноваций в области транспорта, развития инфраструктурных объектов и т.д.;

I - подмножество факторов инфраструктурного характера, включая создание транспортных коммуникаций, товарных складов, торговых представительств и т.д.;

L - подмножество факторов нормативно правового характера, включая торговое, таможенное и транспортное законодательство, обеспечение правоохранительной деятельности и защиту прав собственности, соблюдение межгосударственных соглашений, борьбу с преступными действиями и т.д.

Относительно выделенных десяти подмножеств факторов уравнений (4) и (5) нельзя безоговорочно утверждать, к какому эволюционному этапу транспортных систем они принадлежат. Например, элементы морского права появились еще в античности, а в итальянском городе-республике Амальфи морской кодекс (*Tavola Amalfitana*) достиг в X-XI вв. такого совершенства, что использовался даже в середине XVII в. [17], хотя сам город перестал играть сколько-нибудь заметную роль в средиземноморской торговле после разграбления его войсками Пизы в 1137 г. [17]. Астролябия, используемая для навигации с античных времен (предположительно, со II в. н.э.), была вытеснена более совершенным секстантом только в 1759 г. [6].

Относительно многих факторов вопрос их принадлежности тому или иному эволюционному этапу может быть решён только экспертным путём и, в связи с этим, только предположительно. Границы подмножеств факторов и сами множества, состоящие из этих подмножеств, являются нечёткими.

Исходя из этого, границы подмножеств факторов уравнений (4) и (5) являются размытыми, а размытая принадлежность факторов является предметом нечёткой логики. Если рассматривать эволюционные этапы как кластеры, в которые входят соответствующие факторы, то для их анализа требуется использовать нечёткие методы кластеризации, поскольку одни и те же факторы могут принадлежать одновременно нескольким эволюционным этапам (кластерам). Таким образом, каждому фактору можно поставить в соответствие некоторое значение принадлежности в диапазоне от 0 до 1 одному, двум или нескольким эволюционным этапам транспортных систем.

Выводы

1. Бесспорна и не вызывает сомнений научная заслуга авторов концепции "четырёх логистических революций" во введении в научный оборот термина "логистическая революция".

2. Концепция "четырёх логистических революций" рассматривает развитие логистики, начиная с XI в., не касаясь предшествующих периодов и географически ограничивается, в основном, территорией Западной Европы и Северной Америки. Исходя из этого, концепция "четырёх логистических революций" не в полной мере удовлетворяет критерию полноты охвата имеющихся фактов и событий в мировой логистике.

3. Важнейшим компонентом логистики является транспорт, поэтому эволюция транспортных систем с достаточной полнотой отражает развитие в истории цивилизации логистики в целом.

4. Выделено восемь эволюционных этапов транспортных систем: 1) начало развития транспортных систем; 2) транспортные системы бронзового века; 3) транспортные системы античности; 4) формирование трансевразийской транспортной системы; 5) океанские транспортные системы; 6) транспортные системы индустриального перехода; 7) транспортные системы глобальной экономики; 8) интеллектуальная логистика.

5. Для математического описания динамики транспортных систем использовано уравнение Ферхюльста, на графике которого имеется три характерных участка. На первом участке происходит медленный подъем, который можно объяснить постепенным накоплением потенциала для взрывного роста на следующем участке. Третий участок характеризуется исчерпанием ранее сформированного потенциала и постепенным снижением интенсивности роста с приближением к некоторому максимально возможному предельному значению.

6. Выделено десять групп факторов, от которых зависит эволюция транспортных систем: 1) экономические; 2) политические; 3) демографические; 4) социально-культурные; 5) природно-климатические; 6) развитие науки, техники и технологий; 7) географические; 8) выбор времени для принятия и реализации решений; 9) инфраструктурные; 10) нормативно правовые.

7. Изучение взаимосвязей факторов, определяющих динамику каждого из эволюционных этапов транспортных систем, показало, что множества этих факторов имеют размытые границы и взаимное пересечение, что делает перспективным их исследование методами нечёткой кластеризации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Занг В.Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. М.: Мир, 1999. 335 с.
2. Andersson E. Åke The Four Logistical Revolutions. Papers in Regional Science. Wiley Blackwell. 1986. Vol. 59(1). P. 1-12.
3. Andersson A., Batten D. Creative Nodes, Logistical Networks and the Future of the Metropolis // Transportation. 1987. Vol. 14. P. 281-293.
4. Andersson Åke, Zhang, Wei-Bin. Nonlinearity in Social Dynamics - Order Versus Chaos. Discrete Dynamics in Nature and Society. 1997. Vol. 1(2). P. 111-126.
5. Мерперт Н.Я. «Неолитическая революция» и ее памятники // Мелларт Дж. Древнейшие цивилизации Ближнего Востока. М.: Наука, Главная редакция восточной литературы., 1982. С. 3-11.
6. Линкольн П. Море и цивилизация. Мировая история в свете развития мореходства. М.: АСТ, 2017. 832 с.
7. Всемирная история: В 6 т. / гл. ред. А.О. Чубарьян. М.: Наука. 2011. Т. 1: Древний мир. 2011. 822 с.
8. Сергеев В.С. История Древней Греции. М.: Издательство восточной литературы, 1963. 524 с.
9. Ward-Perkins B. The Fall of Rome and the End of Civilization. Oxford. New York. Oxford University Press, 2006. 276 .
10. Пиренн А. Средневековые города и возрождение торговли. Горький: Горьк. пед. ин-т, 1941. 126 с.
11. Латов Ю.В. Великий Шёлковый путь - пролог мировой экономики и глобализации (к 2130-летию его «Открытия») // Историко-экономические исследования. 2010. Т. 11. №1. С. 123-140.
12. Галкина Т.А., Паппе В.М. Амальфи: Большая российская энциклопедия.
13. Verhulst P.F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement // Correspondence Mathématique et Physique (Bruxelles). 1838. Т. 10. P. 113-121.
14. Московкин В.М., Журавка А.В. Пьер Франсуа Ферхюльст - забытый первооткрыватель закона логистического роста и один из основателей экономической динамики // Оригинальные исследования. 2020. Т.10. №7. С. 207-218.
15. Короткина М.Р. Загадки логистического уравнения и стрела пространство-время // Лесной вестник. 2002. №1. С. 143-157.
16. Куркин А.А., Куркина О.Е., Пелиновский Е.Н. Логистические модели распространения эпидемий // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2020. №1(128). С. 9-18.
17. Коммерческий кодекс Франции / пер. В.Н. Захватаева. Москва: Волтерс Клувер, 2008. 1272 с.
18. Картунов А.Н. Ганзейский союз как прообраз грядущего миропорядка. Российский совет по международным делам (РСМД). URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/ganzeyskiy-soyuz-kak-proobraz-gryadushchego-miroporyadka/>.

Курганов Валерий Максимович

Тверской государственный университет

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

Д.т.н., профессор кафедры экономики предприятия и менеджмента

E-mail: glavreds@gmail.com

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

E-mail: gm-autolab@mail.ru

Дорофеев Алексей Николаевич

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

Адрес: 125167, 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

THE VERHULST EQUATION AND FUZZY CLUSTERING IN THE STUDY OF THE EVOLUTION TRANSPORT SYSTEMS

Abstract. The article examines the evolutionary stages of transport systems using methods of historical and genetic analysis, induction, deduction, abduction, mathematical modeling and fuzzy logic. The analysis of the concept of the «four logistic revolutions» is carried out in terms of compliance with factual material, the validity of geographical localization and chronological boundaries. Eight evolutionary stages of transport systems are identified and a formalized description is given using the Verhulst equation. Ten groups of factors determining the processes of evolution are described. It is shown that sets and subsets of factors have blurred boundaries, mutual intersections and can be studied using fuzzy clustering methods.

Keywords: logistic revolution, evolutionary stages, transport systems, Verhulst equation, fuzzy logic, fuzzy sets

BIBLIOGRAPHY

1. Zang V.B. Sinergeticheskaya ekonomika. Vremya i peremeny v nelineynoy ekonomicheskoy teorii. M.: Mir, 1999. 335 s.
2. Andersson E. The Four Logistical Revolutions. Papers in Regional Science. Wiley Blackwell. 1986. Vol. 59(1). P. 1-12.
3. Andersson A., Batten D. Creative Nodes, Logistical Networks and the Future of the Metropolis // Transportation. 1987. Vol. 14. P. 281-293.
4. Andersson E., Zhang, Wei-Bin. Nonlinearity in Social Dynamics - Order Versus Chaos. Discrete Dynamics in Nature and Society. 1997. Vol. 1(2). P. 111-126.
5. Merpert N.YA. Neoliticheskaya revolyutsiya" i ee pamyatniki // Mellart Dzh. Drevneyshie tsivilizatsii Blizhnego Vostoka. M.: Nauka, Glavnaya redaktsiya vostochnoy literatury., 1982. S. 3-11.
6. Linkol'n P. More i tsivilizatsiya. Mirovaya istoriya v svete razvitiya morekhodstva. M.: AST, 2017. 832 s.
7. Vsemirnaya istoriya: V 6 t. / gl. red. A.O. Chubar'yan. M.: Nauka. 2011. T. 1: Drevniy mir. 2011. 822 s.
8. Sergeev V.S. Istoriya Drevney Gretsii. M.: Izdatel'stvo vostochnoy literatury, 1963. 524 s.
9. Ward-Perkins B. The Fall of Rome and the End of Civilization. Oxford. New York. Oxford University Press, 2006. 276 s.
10. Pirenne A. Srednevekovye goroda i vozrozhdenie trgovli. Gor'kiy: Gor'k. ped. in-t, 1941. 126 s.
11. Latov YU.V. Velikiy Shyolkovyy put' - prolog mirovoy ekonomiki i globalizatsii (k 2130-letiyu ego "Otkrytiya") // Istoriko-ekonomicheskie issledovaniya. 2010. T. 11. №1. S. 123-140.
12. Galkina T.A., Pappe V.M. Amal'fi: Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya.
13. Verhulst P.F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement // Correspondence Mathématique et Physique (Bruxelles). 1838. T. 10. P. 113-121.
14. Moskovkin V.M., Zhuravka A.V. P'er Fransua Ferkhyul'st - zabytyy pervootkryvatel' zakona logisticheskogo rosta i odin iz osnovateley ekonomicheskoy dinamiki // Original'nye issledovaniya. 2020. T.10. №7. C. 207-218.
15. Korotkina M.R. Zagadki logisticheskogo uravneniya i strela prostranstvo-vremya // Lesnoy vestnik. 2002. №1. S. 143-157.
16. Kurkin A.A., Kurkina O.E., Pelinovskiy E.N. Logisticheskie modeli rasprostraneniya epidemiy // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. 2020. №1(128). S. 9-18.
17. Kommercheskiy kodeks Frantsii / per. V.N. Zakhvatayeva. Moskva: Volters Kluver, 2008. 1272 s.
18. Kortunov A.N. Ganzeyskiy soyuz kak proobraz gryadushchego miroponyadka. Rossiyskiy sovet po mezhdu-narodnym delam (RSMD). URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/ganzeyskiy-soyuz-kak-proobraz-gryadushchego-miroponyadka/>.

Kurganov Valery Maksimovich

Tver State University
Address: 170100, Russia, Tver, st. Zhelyabova
Doctor of Technical Sciences
E-mail: glavreds@gmail.com

Gryaznov Mikhail Vladimirovich

Magnitogorsk State Technical University
Address: 455000, Russia, Magnitogorsk, Lenin Ave.
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.
Candidate of Technical Sciences
E-mail: andorofeev@fa.ru

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

УДК 656.073:519.178

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-18-25

М.В. ПЕРЕДЕРИЙ, Л.В. САВКИНА, В.Е. ЯРКИНА

**ОРГАНИЗАЦИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК
С УЧАСТИЕМ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА
НА ОСНОВЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ**

***Аннотация.** В статье уделяется внимание актуальным вопросам организации мультимодальных перевозок и повышению их эффективности, благодаря выбору оптимальных транспортно-технологических схем на основе математических методов оптимизации. Авторами предложено использование метода линейного программирования для выбора пунктов перевалки грузов по прямому варианту, максимально сокращающего время обработки грузов в портах. По мнению авторов, создание базы данных, состоящих из цифровых профилей автомобильных грузоперевозчиков и интегрированных в единую цифровую транспортно-логистическую систему страны будет способствовать построению оптимальных транспортно-технологических схем мультимодальных перевозок и отбора исполнителей.*

***Ключевые слова:** мультимодальные перевозки, автомобильные грузовые перевозки, оптимизация логистического процесса, электронный документооборот, математические методы, big data, транспортная задача, бесшовные перевозки*

Введение

Стратегической целью государства является экономическая устойчивость и процветание, которые достигаются, как повышением эффективности внутреннего промышленного производства, покупательской способностью населения, так и экспортным потенциалом страны и его реализации на внешнем рынке. Залогом конкурентоспособности национальной экономики на мировом рынке является не только сама продукция, но и оптимальные способы ее доставки потребителям. Чтобы поставлять товары в международном сообщении страна не должна зависеть от транспортных услуг других государств. Россия крупнейшая страна мира и ее транспортная система должна полностью удовлетворять потребностям во внутренней и во внешней торговле.

Мультимодальные перевозки – это возможность повысить эффективность перевозочного процесса, снизить транспортную составляющую в контрактной цене готовой продукции. Однако, для организации бесшовного транспортного процесса необходимо, чтобы все звенья перевозки были оптимальны технологически и экономически. К сожалению, за последние 30 лет понятие единой транспортной системы несколько утратило свое значение. Разные виды транспорта развиваются не одинаково, имеют различную степень регулирования государством, разные принципы тарифообразования. Во внешних перевозках возникли большие проблемы из-за ухода крупнейших морских регулярных контейнерных линий из России. Но, самой не прозрачной отраслью транспорта являются грузовые автомобильные перевозки. После отмены института лицензирования в этой области обстановка только ухудшилась. Статистика не в состоянии определить точные объемы перевозимого груза автотранспортом из-за формального учета данных, а, следовательно, и планировать будущие грузопотоки. Однако, автоперевозки могут быть не только прямыми, но и частью мультимодальных. И тогда, бесконтрольность этой части перевозок может значительно снизить качество всей транспортной услуги. Сейчас ситуацию пытаются отрегулировать введением реестра автоперевозчиков. Не будем подробно останавливаться на этой очень своевременной инициативе председателя комитета Государственной думы по транспорту и развитию транспортной инфраструктуры Москвичева Евгения Сергеевича. Отметим только, что введение

такого реестра позволит внести системность в архаичный сейчас мир грузовых автомобильных перевозок и, что для нас главное, станет основой для дальнейшей цифровизации всей отрасли и интеграции с другими видами транспорта. Это отвечает приоритетным направлениям министерства транспорта России: 1. Создание эффективной транспортной системы страны, 2. Национальная цифровая логистическая платформа [1]

Основанием для создания национальной транспортно-логистической платформы является Постановление Правительства РФ от 3 июля 2024 года № 908 «О проведении на территории Российской Федерации эксперимента по созданию, апробации и внедрению информационной системы «Национальная цифровая транспортно-логистическая платформа» для оформления перевозок грузов». Платформа предполагает внедрение единых стандартов цифрового взаимодействия для всех участников транспортно-логистической деятельности, всех видов транспорта и органов государственного управления и регулирования. [2]. Российский рынок нуждается в создании единой цифровой платформы, единого подхода в области цифровой логистики, единой экосистемы, на базе которой можно развивать мультимодальные перевозки. Единая цифровая платформа транспортного комплекса России должна создаваться под руководством государства и должна быть равноудаленной от всех участников рынка транспортно-логистических услуг, чтобы обеспечить равнозначные конкурентные условия [3].

Материал и методы

Надо отметить, что в России уже много сделано в области цифровизации логистических услуг, прежде всего по внедрению электронного документооборота. К примеру, на железнодорожном транспорте технологии электронного документооборота стали применяться с сентября 2002 г. на базе автоматизированной системы ЭТРАН (электронная транспортная накладная). Пилотный проект электронного документооборота в сфере автомобильных грузовых перевозок был запущен с 01 января 2022 г. На базе данного проекта была создана новая федеральная государственная информационная система электронных перевозочных документов (ГИС ЭПД), использование которой позволяет участникам грузовых перевозок с помощью операторов ЭПД обмениваться документами и сведениями, подписывать их в режиме реального времени, а также представлять такие документы и сведения органам государственной власти РФ. Промышленная эксплуатация федеральной информационной системы началась 01 сентября 2022 г. [4].

Однако для создания устойчивой единой транспортной системы страны необходимо сопряжение отраслевых и государственных информационных цифровых платформ между собой в рамках единой государственной платформы с общими стандартами, протоколами обмена данных и системами спутникового мониторинга транспортных средств.[5]. Реестр грузовых автоперевозчиков позволит размещать актуальную информацию о своих компаниях, подвижном составе, лицензиях и допусках к определенным видам перевозок, страховании ответственности, географии перевозок и многое другое. Отметки о начале и конце рейса позволят отслеживать местонахождение транспортного средства, а грузовладельцам-состояние их груза.

Благодаря упорядочиванию отправок транспортных средств и прибытия их на разгрузку, станет очевидной информация о свободных транспортных средствах необходимой грузоподъемности, специализации, с имеющимися допусками к перевозке опасных или негабаритных грузов и другими лицензиями, местами их расположения. Выбор транспортного средства может проводиться методом сравнительного анализа. Основными критериями оптимизации в логистике являются время и стоимость, поэтому при организации перевозки выбор автопоезда может проходить на основании анализа кратчайших расстояний от местоположения свободного транспортного средства к месту погрузки, либо в результате сравнения предлагаемых тарифов. Автомобильные перевозки занимают важнейшее место в мультимодальных перевозках, в том числе и во внешней торговле, где 80 % перевозок осуществляется морским транспортом. Не все порты оснащены железнодорожными подъездными путями, да и партии товаров отдельных отправителей по объему составляют 1-2 контейнера, что говорит о преимуществе использования автоконтейнеровозов для доставки груза в порт отправления. По-

этому «бесшовность» перевозочного процесса в мультимодальном сообщении с использованием автомобильного транспорта является залогом конкурентоспособности не только отечественных транспортно-логистических услуг, но и готовой продукции.[6]. А бесшовность обеспечивается прежде всего электронным документооборотом [7]. ГИС ЭПД уже сейчас позволяет участникам оформить электронную транспортную накладную, электронную сопроводительную ведомость и электронный заказ-наряд, электронный путевой лист, электронный договор фрахтования, электронные заказы и заявки. Оформление документооборота в контакте с государственными и контрольно-надзорными органами в электронном виде подтверждает юридическую силу документов, формируемых в системе. Для дальнейшего совершенствования мультимодальной логистики необходима интеграция всех массивов информации от участников всей цепи поставок [8]. И следующим этапом достижения бесшовности всей перевозки является оптимизация транспортно-технологической схемы доставки. Основой для оптимизации являются математические методы линейного программирования.

Теория и расчет

Как уже было отмечено в 2022 году все крупнейшие международные морские контейнерные линии ушли с рынка перевозок России, поставив обеспечение нашего экспорта и импорта в сложное положение. Наша страна имеет уникальное географическое положение и условия для развития транспортных коридоров способных стать популярными международными артериями. Сегодня развитие нашей транспортной инфраструктуры является стратегической задачей государства. И развитие собственных контейнерных мультимодальных перевозок является частью этой программы [9]. Для этого у страны есть все. Россия – страна, которую омывает наибольшее количество морей, чем любую другую страну. Мы имеем выход в три океана. Промышленный потенциал страны позволяет нарастить парк контейнеров и контейнеровозов. Но, еще важнейшим условием для создания контейнерной линии является наличие устойчивого грузопотока контейнеропригодных грузов. В России насчитываются 10 крупнейших контейнерных терминалов. За последние три года логистические цепочки и направления поставок через эти морские терминалы кардинальным образом изменились. Меняется и номенклатура грузов. Все больше несырьевых, контейнеропригодных грузов поставляются в страны Юго-Восточной Азии, Латинскую Америку и особенно вырос поток товаров из России в Африку. Помимо традиционных грузов, как зерно, мы экспортируем продукцию машиностроения, химической промышленности, оптику, продукты питания, удобрения и многое другое. Причем, производители экспортной продукции расположены в разных регионах страны и грузовые партии формируются регулярно, хоть и не в больших объемах. Не секрет, что стоимость доставки товаров включает в себя не только стоимость непосредственной перевозки, но и услуги внутрипортовой обработки и пребывания на складах временного хранения. И цены эти сопоставимы с перевозочными тарифами. Поэтому, для снижения транспортной составляющей товаров целесообразно сокращение время пребывания грузов на территории портов, в идеале, прямые перегрузки контейнеров в пункте стыкования видов транспорта.[10]. А для этого необходимо организовать оптимальный план поставок от всех производителей экспортеров в контейнерные терминалы морских портов, осуществляющих отгрузки в порты Африки. Наибольшие объемы торговли у России со странами северной части Африки, такими, как Египет и Алжир, но все больше растет интерес и увеличивается поток товаров и в другие регионы, к примеру, в порт-Элизабет Южно-Африканской республики.

Для оптимизации плана перевозок контейнерных грузов из России в ЮАР воспользуемся таким методом, как составление транспортной задачи и последующим ее решением с помощью линейных методов программирования. Это набор специальных методов и приемов в сфере логистического менеджмента, который направлен на снижение издержек при транспортировке, размещении логистических мощностей и нахождении наилучших маршрутов [11]. Данные методы базируются на математическом моделировании, представляющих собой некие алгоритмы и эвристические модели. Иными словами, все имеющиеся методы оптимизации представляют собой транспортную задачу или задачу Монжа-Канторовича [12]. Эти

методы могут быть применены при работе единой цифровой платформы для получения оптимального плана перевозок и транспортно-технологических схем доставки грузов (табл. 1).

Данная задача поддается математическому описанию и имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i, i = 1, 2, \dots, m; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j, j = 1, 2, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} &\rightarrow \min.\end{aligned}$$

К примеру, экспортные товары, упакованные в стандартные 20- и 40- футовые контейнеры, предназначенные для поставки в страны Южной и центральной Африки, сконцентрированы у m производителей в разных регионах России, в разных объектах в количестве a_1, a_2, \dots, a_m . Существует возможность перевозки контейнеров морским транспортом через n морских международных портов России, оснащенных крупнейшими контейнерными терминалами. Допустим, что из всех этих портов формируются контейнерные линии в порт-Элизабет ЮАР. На определенный момент времени каждый порт готов принять определенное количество контейнеров b_1, b_2, \dots, b_n для прямой погрузки на судно. В качестве тарифа c принимаем совокупную стоимость доставки контейнера автомобильным транспортом в порт, внутрипортовое экспедирование и перевалку в порту и стоимость морской перевозки из этого порта в порт-Элизабет. Не секрет, что стоимость обработки грузов в портах сильно различается и по величине зачастую сопоставима с тарифом непосредственной перевозки, поэтому необходимо ее учитывать в интегральной оценке всей перевозки. Поэтому c_{ij} - тариф перевозки груза от производителя i через морской порт j в Южно-африканский порт -Элизабет. Необходимо организовать такой план мультимодальной перевозки, который позволит полностью вывезти продукцию всех производителей, заполнить суда-контейнеровозы в портах, обеспечивая линейное судоходство при минимальных общих затратах на перевозку. x_{ij} обозначают количество перевозимых контейнеров от производителя i до порта j .

Существует множество математических методов для решения этих задач. Решение таких задач разбивается на три этапа: 1. Формирование опорного плана; 2. Проверка полученного опорного плана на оптимальность; 3. Переключение на новый опорный план, в случае неоптимальности.

Таблица 1 -Типовая транспортная задача

		Пункты назначения						
		1	2	...	j	...	n	a_i
Пункты отправления	1	$c_{11}x_{11}$	$c_{12}x_{12}$	...	$c_{1j}x_{1j}$	...	$c_{1n}x_{1n}$	a_1
	2	...	...	...	...	...	...	a_2

	i	$c_{i1}x_{i1}$	$c_{i2}x_{i2}$	...	$c_{ij}x_{ij}$	...	$c_{in}x_{in}$	a_i

	m	$c_{m1}x_{m1}$	$c_{m2}x_{m2}$	...	$c_{mj}x_{mj}$	...	$c_{mn}x_{mn}$	a_m
	b_j	b_1	b_2	...	b_j	...	b_n	$\sum b_i = \sum a_i$

Для формирования первоначального опорного плана перевозок можно использовать разные методы. Наиболее популярным и простым является метод северо-западного угла, однако он же является наименее оптимальным и требует применения следующих математических методов для корректировки оптимальности плана, таких, как, например, метод потенциалов. Поэтому мы предлагаем использовать не такой популярный, но, дающий гораздо более приближенный к оптимальному, опорный план перевозок, метод аппроксимации Фогеля. Основа метода – концепция штрафов, взимаемых за выбор наименее оптимального в аспекте затрат на транспортировку маршрута. Штраф по каждой из строк и каждому столбцу вычисляется на основе анализа предложенных маршрутов с всевозможными показателями трат. Ячейка, в которой зарегистрирован самый большой штраф, заполняется первой. Затем все штрафы подвергаются пересчету. Это действие продолжается пока все имеющиеся ресурсы не будут распределены.[13].

Результаты и обсуждение

Всего алгоритм решения методом Фогеля включает в себя пять этапов:

1. Выполняется вычисление разностей в каждой строке и в каждом столбце между меньшей стоимостью и ближайшей к ней по величине. Разницы по строчкам записываются в столбец разностей, а разница по столбцам – в строчку разностей, расположенную внизу таблицы;
2. После выполнения операции разности необходимо найти максимальное из полученных значений;
3. В найденную клетку, в строчку с максимальной разностью, размещается максимальное количество ресурсов. Если размещаемый ресурс полностью исчерпан, то все клетки строки вычеркиваются;
4. Вычисляется разность столбцов и строк, игнорируя значения в клетках, содержащих ресурсы и в вычеркнутых клетках и определение максимальной разности в строке или столбце;
5. Проводится поиск минимального элемента в строке или столбце с наибольшей разностью, в который комплектуется максимально возможное количество ресурса, затем повторное выполнение этапа №4 и т.д.

Метод рекомендуется применять при матрицах больших размерностей. Если мы предполагаем формирование морских контейнерных линий, то постоянный грузопоток должен обеспечиваться централизованно, на основе анализа экспорта всего рынка страны, а не только региональных поставщиков, таким образом производителей, отгружающих товары на экспорт в определенном направлении может быть большое количество.

Покажем на примере упрощенно применение данного метода. Допустим, что со складов производителей, расположенных в трех регионах страны: Ярославской, Самарской и Тюменской областей (v_1, v_2, v_3) должны быть отправлены на экспорт в Южно-Африканскую республику контейнеры с готовой продукцией. Предположим, что в трех наших международных морских портах, расположенных в Усть-Луге, Новороссийске и Владивостоке (a_1, a_2, a_3) формируются контейнерные линии. Независимый оператор смешанных перевозок определяет с помощью реестра автомобильных грузоперевозчиков на единой цифровой платформе свободные автотранспортные средства, которые способны вывезти груз в направлении портов. Возможно, что автоперевозчик должен быть в реестре таможенных перевозчиков, если груз уже находится под таможенным контролем. Далее необходимо построить оптимальный опорный план доставок контейнеров в Африку через наши морские порты.

Таблица 2 - Распределительная таблица с разностями строк и столбцов

Порты / Производители	a_1	a_2	a_3	Количество контейнеров	Δ_i
v_1				14	300
	2100	1800	3000		
v_2				16	200
	2500	2000	2700		
v_3				10	0
	3000	2300	2300		
Свободные места	10	12	18		
Δ_j	400	200	300		

Находим для каждой строки транспортной таблицы абсолютные разности (по модулю, т. е. без знака) между двумя минимальными тарифами в этой строке. То же самое делаем и для каждого столбца: ищем в нем два минимальных тарифа и находим их разность по модулю (табл. 2).

Найденные разности выписываем в добавочный столбец (Δ_i) и добавочную строку (Δ_j). Среди вычисленных разностей (и по строкам, и по столбцам!) выбираем наибольшую. Затем в строке или столбце, которому соответствует максимальная разность, ищем клетку с минимальным тарифом. Заполняем ее максимально возможным объемом грузоперевозки.

Затем повторяем все вышеописанные действия снова, только уже не учитывая заполненные клетки и выбранные ранее разности (Δi и Δj). И так до тех пор, пока не будет полностью найден опорный план.

Таблица 3 - Опорный план, найденный методом аппроксимации Фогеля

Порты / Производители	a_1	a_2	a_3	Количество контейнеров	Δi
ϕ_1	10	4		14	300
	2100	1800	3000		
ϕ_2		8	8	16	200
	2500	2000	2700		
ϕ_3			10	10	0
	3000	2300	2300		
Свободные места	10	12	18		
Δj	400	200	300		

Зачастую опорный план, полученный аппроксимацией Фогеля, оказывается либо сразу оптимальным (как в приведенном примере), либо очень близким к нему. При необходимости можно проводить уточнения с помощью таких математических методов, как метод потенциалов (табл. 3)

В нашем примере, исходя из количества готовых к отправке контейнеров и свободных мест на судах контейнерных линий, формирующихся в портах страны оптимальным решением будет отправка из Ярославской области 10 контейнеров в порт Усть-Луга, 4 – в Новороссийск, из Самарской области отправка 8 контейнеров через порт Новороссийска и 8 контейнеров через порт Владивостока. Все контейнеры из Тюменской области готовы принять порт Владивостока.

Данный метод позволяет одновременно рассматривать множество вариантов транспортно-технологических схем мультимодальных перевозок и может стать основой для оптимизации мультимодальных перевозок, включающих разные виды транспорта. Основным условием для этого должна стать единая цифровая платформа, где, используя методы big data [14] добросовестные участники рынка смогут размещать актуальную информацию.

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что формируемый единый реестр грузовых автомобильных перевозчиков должен стать неотъемлемой частью единой национальной цифровой транспортной системы и способствовать организации бесшовных мультимодальных перевозок, в том числе и при создании отечественных международных морских контейнерных линий. Формирование базы данных платформы необходимо проводить с использованием технологий big data, позволяющих вести обработку информации разного состава и огромного объема быстро обновляемой и находящейся в различных источниках [15]. Авторами предложен метод оптимизации транспортно-технологических схем мультимодальных перевозок с участием автомобильного транспорта при организации отечественных международных морских контейнерных линий с использованием математических методов линейного программирования. Метод позволит сократить издержки и наладить «бесшовные» перевозки с прямыми перевалками с автомобильного на морской транспорт, сокращая время пребывания груза в порту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р.
2. Борисова В.В. Цифровое администрирование логистических процессов в цепях поставок // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2021. №3(75). С. 12-17.
3. Барыкин С.Е., Егерев Ю.Б., Калинина О.В., Корчагина Е.В. [и др.] Крупнейшие международные цифровые логистические платформы: сравнительный анализ // Омский научный вестник. Серия Общество. История. Современность. 2022. Т. 7. №1. С. 97-103.
4. ГИС ЭПД – актуальная информация [Электронный ресурс]. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/news/1478>

5. Парфенов А.В., Сюй Наймин. Стратегические направления и перспективы развития в РФ логистической информационной платформы LOGINK // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: экономика. Т. 4. 2023.
6. Глинский В.А., Присяжная А.И. Бесшовная грузовая логистика - ключевое направление транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года // Логистические системы в глобальной экономике. 2022. №12. С. 75-79.
7. Фильчакова В.А., Воронин С.Е. Бесшовная грузовая логистика // Актуальные проблемы развития таможенного дела на современном этапе: Материалы III Межвузовской студенческой научно-практической конференции. Новосибирск. 2022. С. 200-205.
8. Ворона А.А., Колпаков Д.А. Тенденции и перспективы развития бесшовной мультимодальной логистики // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. №2.
9. Голубцов Е.С. Математическое моделирование процессов терминалов контейнерных перевозок. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
10. Резер С.М. Контейнеризация грузовых перевозок // Транспорт: наука, техника, управление. 2010. №6. С. 1-6.
11. Арифджанова Н.З. Мультимодальные перевозки как эффективный инструмент внешнеэкономической интеграции // Universum: технические науки. 2022. №4(97).
12. Кузиев А.У., Махсумов И.А. Математические методы в оптимизации мультимодальных перевозок = Mathematical methods in optimization of multimodal transportation // Развитие логистики и управления цепями поставок: материалы V Международной научно-практической молодежной конференции, посвящённой 55-летию кафедры «Экономика и логистика. Минск: БНТУ. 2024. С. 825-829.
13. Галютдинов Р.Р. Транспортная задача: метод аппроксимации Фогеля [Электронный ресурс] / Сайт преподавателя экономики. 2014. URL: <https://galyautdinov.ru/post/approksimaciya-fogelya>.
14. Щелкунов И.А., Пивоварова Г.Б. Совершенствование информационных систем в мультимодальных перевозках // Инновационных технологий: сборник статей Международной научно-практической конференции В 2 ч. Ч. 1. Уфа: АЭТЕРНА, 2018. 210 с.
15. Медетов А.А. Термин Big data способы его применения // Молодой ученый. 2016. №11. С 207.

Передерий Марина Викторовна

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
Адрес: 346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
Профессор кафедры Международные логистические системы и комплексы
E-mail: pmv__62@mail.ru

Савкина Лариса Владимировна

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
Адрес: 346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
Доцент кафедры Производственный и инновационный менеджмент
E-mail: perl_@mail.ru

Яркина Валерия Евгеньевна

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
Адрес: 346411, Россия, г. Новочеркасск, ул. Щорса, 101, кв.34
Аспирант кафедры Международные логистические системы и комплексы
E-mail: valer.rom@mail.ru

M.V. PEREDERIY, L.V. SAVKINA, V.E. YURKINA

ORGANIZATION OF MULTIMODAL TRANSPORTATION INVOLVING MOTOR TRANSPORT BASED ON LOGISTICAL PRINCIPLES

Abstract: The article focuses on topical issues of the organization of multimodal transportation and improving their efficiency, due to the choice of optimal transport and technological schemes based on mathematical optimization methods. The authors proposed using the linear programming method to select cargo transshipment points using the direct option, which reduces cargo handling time in ports as much as possible. According to the authors, the creation of a database consisting of digital profiles of automobile cargo carriers and integrated into a single digital transport and logistics system of the country will contribute to the construction of optimal transport and technological schemes for multi-

modal transportation and selection of performers.

Keywords: *multimodal transportation, road freight transportation, optimization of the logistics process, electronic document management, mathematical methods, big data, transport task, seamless transportation*

BIBLIOGRAPHY

1. O Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 27.11.2021 № 3363-r.
2. Borisova V.V. Tsifrovoe administrirovanie logisticheskikh protsessov v tsepyakh postavok // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta (RINH). 2021. №3(75). S. 12-17.
3. Barykin S.E., Egereva YU.B., Kalinina O.V., Korchagina E.V. [i dr.] Krupneyshie mezhdunarodnye tsifrovye logisticheskie platformy: sravnitel'nyy analiz // Omskiy nauchnyy vestnik. Seriya Obshchestvo. Is-toriya. Sovremennost'. 2022. T. 7. №1. S. 97-103.
4. GIS EPD - aktual'naya informatsiya [Elektronnyy resurs]. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/news/1478>
5. Parfenov A.V., Syuy Naymin. Strategicheskie napravleniya i perspektivy razvitiya v RF logisticheskoy informatsionnoy platformy LOGINK // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: ekonomika. T. 4. 2023.
6. Glinskiy V.A., Prisyazhnaya A.I. Besshovnaya gruzovaya logistika - klyuchevoye napravlenie transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda // Logisticheskie sistemy v global'noy ekonomike. 2022. №12. S. 75-79.
7. Fil'chakova V.A., Voronin S.E. Besshovnaya gruzovaya logistika // Aktual'nye problemy razvitiya tamozhennogo dela na sovremennom etape: Materialy III Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Novosibirsk. 2022. S. 200-205.
8. Vorona A.A., Kolpakov D.A. Tendentsii i perspektivy razvitiya besshovnoy mul'timodal'noy logistiki // Vestnik evraziyskoy nauki. 2023. T. 15. №2.
9. Golubtsov E.S. Matematicheskoe modelirovanie protsessov terminalov konteynernykh perevozok. Moskva: MGTU im. N.E. Bauman, 2010.
10. Rezer S.M. Konteynerizatsiya gruzovykh perevozok // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2010. №6. S. 1-6.
11. Arifdzhanova N.Z. Mul'timodal'nye perevozki kak effektivnyy instrument vneshneekonomicheskoy integratsii // Universum: tekhnicheskie nauki. 2022. №4(97).
12. Kuziev A.U., Makhsumov I.A. Matematicheskie metody v optimizatsii mul'timodal'nykh perevozok = Mathematical methods in optimization of multimodal transportation // Razvitie logistiki i upravleniya tsepyami postavok: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy molodiozhnoy konferentsii, posvyashchionnoy 55-letiyu kafedry "Ekonomika i logistika. Minsk: BNTU. 2024. S. 825-829.
13. Galyautdinov R.R. Transportnaya zadacha: metod approksimatsii Fogelya [Elektronnyy resurs] / Sayt prepodavatelya ekonomiki. 2014. URL: <https://galyautdinov.ru/post/approksimatsiya-fogelya>.
14. Shchelkunov I.A., Pivovarova G.B. Sovershenstvovanie informatsionnykh sistem v mul'timodal'nykh perevozkakh // Innovatsionnykh tekhnologiy: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii V 2 ch. CH. 1. Ufa: AETERNA, 2018. 210 s.
15. Medetov A.A. Termin Big data sposoby ego primeneniya // Molodoy uchenyy. 2016. №11. S. 207.

Pedereriy Marina Viktorovna

South Russian State Polytechnic University
Address: 346428, Russia, Novocherkassk
Professor
E-mail: pmv_62@mail.ru

Yarkina Valeria Evgenievna

South Russian State Polytechnic University
Address: 346411, Russia, Novocherkassk
Student
E-mail: valer.rom@mail.ru

Savkina Larisa Vladimirovna

South Russian State Polytechnic University
Address: 346428, Russia, Novocherkassk
Associate Professor
E-mail: perl_@mail.ru

А.М. ФИГИЧЕВ, И.Д. БЕШЕНЦЕВ

ПЛАНИРОВАНИЕ РЕГУЛЯРНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК И ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ ПО ЗАКАЗУ: СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ

Аннотация. В статье исследовано применение двух основных подходов к организации пассажирских перевозок: регулярные пассажирские перевозки и пассажирские перевозки по заказу. На стыке этих двух подходов найдла свое применение сервисно ориентированная модель пассажирских перевозок (MAAS). Эта модель даёт результат в том случае, когда пассажиропоток незначителен по своему количеству и не постоянен по распределению. Так как при этом транспорт осуществляет социальную функцию и должен удовлетворять запрос на перемещение населения, перевозку осуществить необходимо с соблюдением показателей качества. Преимущественно будет рассмотрен опыт Санкт-Петербурга. Разработанные в рамках исследования результаты могут быть применены в деятельности органов исполнительной власти, государственных предприятий и организаций частного предпринимательства при комплексном планировании пассажирских перевозок.

Ключевые слова: транспортные системы городов, городской наземный электрический транспорт (ГНЭТ), маршрутный таксомоторный транспорт, пассажирские перевозки, эффективность работы транспорта

Введение

Перед транспортными предприятиями разных регионов, городов России и мира всегда стоит насущный вопрос — каким образом организовать предложение под имеющийся спрос. Исторически выработалось несколько моделей планирования организации пассажирских перевозок, они отталкивались либо от пассажиропотока, либо от вида транспорта. Электрические виды транспорта (метрополитен, железная дорога, трамвай, троллейбус) всегда развивались исключительно в связке с инфраструктурой, что делало их содержание дорогостоящим, но устойчивым и всеобъемлющим. В случае тех видов транспорта, которые слабо или вовсе не зависят от инфраструктуры, уровень планирования опускается на мезо- и микроуровни транспортной мобильности: подвозящий маршрут, охватывающий наиболее труднодоступные объекты притяжения или наоборот магистральный наикратчайший экспресс-маршрут — данные показатели целиком зависят от наполнения салона, организации движения и ситуации на УДС.

Целью работы является разработка модели, содержащей критерии выбора подхода к планированию организации пассажирских перевозок, характеризующие пассажиропоток как в наиболее пассажирообразующих точках, так и в центрах притяжения населения. На основе модели сформулировать методику планирования транспортного обслуживания с использованием перевозок по принципу MAAS. Предметом исследования является выбор способа организации пассажирских перевозок (регулярные или по заказу), влияние эффективности пассажирских перевозок на подвозящей сети на эксплуатационные и финансовые результаты работы магистрального маршрута высокой провозной возможности. Объект исследования — планирование мультимодальных пассажирских перевозок с использованием магистральных и подвозящих маршрутов.

В исследовании используются положения научных исследований таких известных специалистов, как Зильберталь А.Х., Лобанов Е.М., Спирин И.В., Ваксман С.А., Лосин Л.А., Солодкий А.И., Власов В.М., Жанказиев С.В., Присяжнюк М.С., Титова С.В.

Материал и методы

Научная новизна исследования состоит в разработке методических подходов к определению структуры маршрутной сети в условиях необходимости обеспечить перевозку большого количества пассажиров с минимальным временем поездки в условиях дефицита

бюджетного финансирования на строительство инфраструктуры, подвижного состава и водителей. Предлагается гипотеза: пассажирские перевозки по заказу (в соответствии с подходом МААС) могут быть эффективны для генерации пассажиропотока на магистральном маршруте с высокой провозной возможностью. Однако исключительное использование данного подхода не может привести к наивысшей эффективности, и создаётся авторская модель определения подхода к планированию мультимодальных пассажирских перевозок. Её эмпирической базой является модель расчета показателей работы маршрутов и определения подхода к планированию маршрутов.

Теория / Расчёт

Во-первых, необходимо разделить технико-эксплуатационные показатели по различным видам транспорта. Рассматриваем мы исключительно наземные виды транспорта. В первую группу видов вошли те, что сильно зависят от инфраструктуры: в основном это городской наземный электрический транспорт (ГНЭТ). Во вторую вошли те, что от в меньшей степени зависят от инфраструктуры, а энергию получают от двигателя внутреннего сгорания (ДВС) или электродвигателя. Отнесём их в группу автотранспортных. Это автобусы, электробусы с ночной/ультрабыстрой зарядкой, маршрутные такси.

Таблица 1 – Техничко-эксплуатационные показатели различных групп видов транспорта

Наименование показателя	Наличие у ГНЭТ	Наличие у автотранспортных
1	2	3
Время работы на маршруте, ч.		$T_M = T_H + \sum t_{H_i}$
Время рейса, ч.		$t_p = t_{дв} + \sum t_{по}$
Время оборота, ч.		$t_o = 2t_p + \sum t_{ко}$
Кол-во оборотов, ед.		$n_o = \frac{T_M}{t_o}$
Кол-во рейсов, ед.		$n_p = 2 \cdot n_o$
Корректированное время на маршруте, ч.		$T_M^k = t_o \cdot n_o$
Корректированное время в наряде, ч.		$T_H^k = T_M^k + \sum t_{H_i}$
Коэффициент сменности		$k_{см} = \frac{l_M}{l_{ср}}$
Техническая скорость, км/ч		$V_T = \frac{l_M}{t_{дв}}$
Скорость сообщения, км/ч	$V_c = \frac{l_M}{t_p}$	$V_c = \frac{60l_M}{(t_y + t)(n - 1) + \frac{1000l_m - (n-1)(l_y + l_y)}{v_{max}} + t_{пв}}$
Эксплуатационная скорость за рабочий день, км/ч		$V_3 = \frac{l_{ср}}{T_H^k}$
Эксплуатационная скорость за оборот, км/ч		$V_3^o = \frac{2 \cdot l_M}{t_o}$
Пробег с пассажирами за день, км		$l_{п} = l_M \cdot n_p$
Среднесуточный пробег, км		$l_{ср} = l_{п} + l_H$
Коэффициент использования пробега		$\beta = \frac{l_{п}}{l_{ср}}$
Производительность вагона за рейс, пасс.		$U_p = Q \cdot \gamma \cdot k_{см}$
Производительность вагона за рейс, пасс.-км.		$W_p = Q \cdot \gamma \cdot k_{см} \cdot l_{ср}$
Производительность вагона за рабочий день, пасс.		$U_{рл} = U_p \cdot n_p$
Производительность вагона за рабочий день, пасс.-км.		$W_{рл} = W_p \cdot n_p$
Потребное кол-во вагонов на маршруте, ед.	$B_M = \frac{Q_c}{U_{рл}}$	$N = \frac{t_{об}}{t_i} = \frac{n t_{об}}{T}$

Окончание таблицы 1

1	2	3
Потребное кол-во вагонов в часы пик, ед.	$B_M^{\text{пик}} = \frac{Q_{\text{max}} \cdot t_0}{Q}$	$A_M^{\text{пик}} = \frac{R_{\text{max}} \cdot t_{\text{об}}}{60q}$
Частота движения вагонов, ваг/ч.	$B_{\text{ч}} = \frac{B_M^{\text{пик}}}{t_0}$	$n = \frac{NT}{t_{\text{об}}}$
Интервал движения вагонов в часы пик, мин.	$I = \frac{t_0 \cdot 60}{B_M^{\text{пик}}}$	$I = \frac{t_{\text{об}}}{A_M^{\text{пик}}}$ $I_{\min} = t_1 + t_2 + \sqrt{\frac{2S_a}{a_t}} + \sqrt{\frac{2S_a}{a_3}}$ $I_{\max} = 10 \text{ мин.}$
Провозная способность, пасс/час.	$P_m = Mq$	
Пропускная способность, ваг/час.	$M = \frac{T}{\frac{l_c + l_6}{v}} = \frac{Tv}{l_c + l_6} = \frac{Tv}{2(l_y + l_c + vt_p)}$	
Списочное кол-во вагонов, ед.	$B_c = \frac{B_M}{\alpha_B}$	$A_c = \frac{A_M}{\alpha_B}$
Кол-во вагоно-дней в депо, ваг.-дн.	$ВД_{\text{АТП}} = B_c \cdot D_K$	$АД_{\text{АТП}} = A_c \cdot D_K$
Кол-во вагоно-дней в эксплуатации, ваг.-дн.	$ВД_3 = B_M \cdot D_K$	$АД_3 = A_M \cdot D_K$
Число рейсов на маршруте за определённый период, ед.	$N_p = n_p \cdot ВД_3$	
Кол-во вагоно-часов в наряде, ч.	$ВТ_n = T_n^k \cdot ВД_3$	$АТ_n = T_n^k \cdot АД_3$
Кол-во вагоно-часов на маршруте, ч.	$ВТ_M = T_M^k \cdot ВД_3$	$АТ_M = T_M^k \cdot АД_3$
Пробег вагонов за определённый период, км	$L_{\text{общ}} = l_{\text{cc}} \cdot ВД_3$	$L_{\text{общ}} = l_{\text{cc}} \cdot АД_3$
Пробег с пассажирами за определённый период, км	$L_n = l_n \cdot ВД_3$	$L_n = l_n \cdot АД_3$
Объём перевозок за период, пасс.	$Q = U_{\text{рд}} \cdot ВД_3$	$Q = U_{\text{рд}} \cdot АД_3$
Пассажиропоток, пасс.	$(l - l_a - l_b)(h_a - h_b)$	
Пассажирооборот на маршруте за определённый период, пасс.-км.	$P = W_{\text{рд}} \cdot ВД_3$	$P = W_{\text{рд}} \cdot АД_3$
Средняя дальность поездки пассажиров, км	$l_{\text{cp}} = \frac{P}{Q}$	
Средние затраты времени на ожидание, мин.	$t_{\text{ож}} = \frac{t_i}{2} = \frac{l}{2} + \frac{\sigma^2}{2l}$	
Средняя вместимость вагона, пасс./ваг.	$n_{\text{cp}} = \frac{n_c}{L_c}$	
Коэф. использования вместимости	$\gamma_c = \frac{Q_{\text{ф}}}{q_n}$	
Динамический коэф. использования вместимости	-	$\gamma_d = \frac{Q_{\text{ф}} \cdot l_{\text{cp}}}{q_n \cdot L_M \cdot P}$
Коэф. использования подвижного состава	$K_{\text{ип}} = \frac{ВД_p}{ВД_c}$	$K_{\text{ип}} = \frac{АД_p}{АД_c}$
Рейсовый коэффициент	-	$K_{\text{рвм}} = \frac{P}{q_n \cdot L_M}$
Длина нарастания пассажиропотока	-	$l_{\text{нп}} = \frac{L_M}{P_1 + P_2 + \dots + P_n}$
Коэф. технической готовности	$K_{\text{тг}} = \frac{B_T}{B_{\text{сп}}}$	$K_{\text{тг}} = \frac{A_T}{A_{\text{сп}}}$
Коэф. выпуска на линию	$K_{\text{вл}} = \frac{B_3}{B_{\text{сп}}}$	$K_{\text{вл}} = \frac{A_3}{A_{\text{сп}}}$
Себестоимость перевозок	$d_{\text{Нпасс км}} = \frac{C_{\text{общ}} \cdot N}{P}$	$C = \frac{3_{\text{км}} \cdot L_{\text{общ}} + 3_{\text{ч}} \cdot A_{\text{чр}}}{365 \cdot \alpha_n \cdot q \cdot \gamma \cdot T_n \cdot v_3 \cdot \beta \cdot A}$
Прибыль от перевозок	-	$\Pi = (0,93MQ - L_{\text{общ}} 3_{\text{км}} + A_{\text{чр}} 3_{\text{ч}}) \cdot 0,01$
Рентабельность перевозок	$R_{\text{пер}} = \frac{\Pi_{\text{пер}}}{C_{\text{общ}}} \cdot 100$	$R_{\text{пер}} = \frac{l \cdot Q_{\text{сут}} \cdot M_{\text{км}}}{(3_{\text{ч}} + 3_{\text{км}} \cdot v_3) \cdot T_n \cdot A \cdot \alpha \cdot [1 + (2l_{\text{пеш}}/v_{\text{пеш}} + l \cdot e/q) \cdot v_3/l]}$

Исходя из таблицы 1, основными технико-эксплуатационными показателями для группы автотранспортных являются:

- среднесписочное число ПС;

- средняя вместимость ПС (в основном для маршрутных таксомоторных перевозок);
- коэффициент технической готовности ПС;
- коэффициент выпуска ПС на линию;
- коэффициент использования пробега;
- средняя продолжительность работы ПС на линии (время в наряде);
- средняя техническая скорость движения;
- эксплуатационная скорость движения;
- скорость сообщения;
- динамический коэффициент использования вместимости ПС (в основном для МТП);
- пассажирооборот;
- объём перевозок;
- средняя дальность поездки пассажиров;
- производительность среднесписочной единицы ПС за рассматриваемый период времени;
- себестоимость перевозок;
- рентабельность перевозок.

Показатели видов транспорта группы автотранспортных свидетельствуют о распределённом характере организации перевозок – особое внимание отдаётся коэффициентам наполнения и использования вместимости, последний из которых даже может быть динамическим. В случае недостаточно высокого пассажиропотока на линии автобусы могут быть переброшены на более пассажиронапряжённые маршруты, а удельный пассажиропоток напрямую влияет на себестоимость и рентабельность перевозок. По такому принципу работали маршрутные такси, все маршруты которых окупались. И данные маршруты наиболее приспособлены под неустойчивые системы с нестандартным пассажиропотоком – их можно рассматривать для перевода на режим обслуживания по заказу.

Основными технико-эксплуатационными показателями для группы ГНЭТ являются:

- резерв пропускной способности сети;
- резерв провозной способности вагонов/машин;
- коэффициент использования ПС;
- коэффициент неравномерности;
- время оборота;
- средний маршрутный интервал;
- частота движения в одном направлении в единицу времени;
- протяжённость маршрута;
- выпуск вагонов/машин;
- число перевезённых пассажиров;
- средняя длина поездки;
- среднее наполнение на маршруте/на перегоне;
- среднее кол-во вагонов/машин на 1 км. одиночного пути (кмоп) сети;
- средняя мощность пассажиропотока;
- вагоно/машино-рейсы;
- вагоно/машино-километры;
- вместимость конечной станции;
- среднесетевая нагрузка;
- среднее кол-во пассажиров на 1 вагоно-километр;
- частота остановочных пунктов;
- коэффициент экономии времени;
- капитальные затраты на перевозимого в год 1 пассажира;
- стоимость содержания инфраструктуры на 1 пассажира.

Показатели видов транспорта группы ГНЭТ свидетельствуют о сетевом характере организации перевозок – особенное внимание отдаётся провозной способности, что символизирует массовые перевозки пассажиров

по расписанию. Это означает, что виды ГНЭТ, привязанные к инфраструктуре, не могут быть приспособлены к осуществлению перевозок по заказу и режиму работы по наполнению. Также, инфраструктурные виды ГНЭТ не являются гибкими и в случае каких-либо происшествий на линии потребуются усилия диспетчеров. Именно поэтому трамвайные и троллейбусные перевозки эффективны в устоявшихся системах с высоким пассажиропотоком, чего нельзя сказать о таком виде перевозок, как перевозки по заказу.



Рисунок 1 – Классификация автобусных маршрутов

Более углублённо исследуем группу автотранспортных. Сравним такие виды транспорта, как автобус и маршрутное «такси». Начнём с определений. Автобус – вид транспорта, обслуживающий регулярные пассажирские перевозки и совершающий посадку/высадку пассажиров в местах остановочных пунктов. Классификация автобусных маршрутов (рисунок 1) безусловно может быть выполнена по вышеописанной типологии «диаметральный – магистральный – подвозящий», однако учитывая подвозящий характер перевозок данного вида транспорта в маршрутной системе города, более целесообразно классифицировать его маршруты на следующие условные классы (табл. 2).

Таблица 2 – Классификация автобусных маршрутов по типам связей

№	Тип связей	Пояса	Значение	Нумерация
1	Местные внутри-районные	2, 3 (внутри)	Самостоятельное, обслуживают перевозки по территории района на различное расстояние, в т. ч. к крупным промышленным предприятиям	А, Б... (кольцевые), 150-199
2	Местные подвозящие	3,2-2 (во 2-м поясе – ТПУ)	Связывают жилые и промышленные районы со станциями скоростных видов транспорта – метрополитена и железных дорог – для дальнейшего следования пассажиров с пересадкой	100...149
3	Центральные	3,2-1	Связывают окраинные районы с центральными	1...30
4	Межрайонные	3-3, 2-2	Связывают районы, расположенные по периферии города, через: - проезды, имеющие кольцевое направление, - проезды, перпендикулярные центральным магистралям	40...100
5	Пригородные	П-3,2	Обслуживают ближайшие к городу посёлки, места отдыха, аэропорты	200, 201...
6	Загородные	3-3,2	Обслуживают отдалённые посёлки и места отдыха	300, 301...
7	Междугородные	Г-Г	Связывают между собой города	4-х знач.

Добавочные короткие маршруты должны иметь цифровое обозначение, идентичное основному маршруту, и буквенное обозначение, отражающее степень их добавления – «к»

укороченные (<30% дублирование основного маршрута), «а» аналогичные (30%+ дублирование основного маршрута). Удлиненная версия маршрута обозначается буквой «д». В случае проведения оптимизации желательно оставлять маршрут с приставкой «д», так как он охватывает большее количество точек притяжения и, как следствие, перевозит большее количество пассажиров – среди них будут и те, кто совершает уникальные корреспонденции, пользуясь данным маршрутом регулярно. Экспрессные маршруты имеют буквенное обозначение «э» к номеру основного маршрута, полуэкспрессные – буквенное обозначение «т». Последовательность обозначения конечных станций и промежуточных пунктов на аншлагах, объявлениях и прочей информации должно производиться от конечной станции до оборотной, а в случае конкретного остановочного пункта – по направлению движения маршрута, проходящего через данный ОП.



Рисунок 2 – Сфера применения различных видов транспорта в городских пассажирских перевозках

Маршрутное такси – вид транспорта, обслуживающий регулярные пассажирские перевозки и совершающий посадку/высадку пассажиров в любом, не запрещённом ПДД месте. Система маршрутных таксомоторных перевозок – совокупность маршрутной сети, пассажирских автомобилей, используемых на маршрутах с посадкой, высадкой и доставкой (при перевозках по заявкам) пассажиров по их требованию, и системы управления эксплуатации этих автомобилей. На рисунке 4 изображена сфера применения маршрутных такси в городских пассажирских перевозках. Она состоит в объединении функций общественного и индивидуального транспорта, склоняясь ближе к общественному – таким образом городское предприятие общественного транспорта повышает разнообразие транспортных услуг и уровень соответствия транспортным потребностям населения в условиях роста числа населения города и применении современной планировочной застройки. Факторы, определяющие уровень обслуживания пассажиров и их показатели представлены в рисунке 2.

По первому фактору, комфортабельности проезда, выигрывают таксомоторные перевозки, так как они осуществляют индивидуальное обслуживание пассажиров. По скорости сообщения также выигрывают таксомоторные перевозки, так как они могут снизить суммарное время стоянки на промежуточных остановках и, как следствие, суммарное время движения по маршруту. На более коротких маршрутах они достигают наивысшей эффективности. В случае перевозок на такси промежуточных остановок вовсе не будет. По критерию степени учёта индивидуальных требований пассажиров информация представлена в таблице 3. При одновременном обслуживании небольшой группы людей, маршрутные таксомоторные перевозки обеспечивают преимущества по сравнению как с автобусными, так и таксомоторными перевозками по целому ряду показателей.

Количество мест посадки высадки зависит от двух показателей. От типа маршрута зависит, наличие остановочных пунктов на маршруте в принципе, от типа регулирования тарифа – будет ли транспортное средство останавливаться в местах остановочных пунктов, или в любом, не запрещённом ПДД месте. Время выполнения поездки, соответственно, косвенно

зависит от всех вышеперечисленных показателей, напрямую – от времени в наряде и времени, затрачиваемого на нулевые пробеги. Практика показывает, что в случае, если 10-20% пассажиров предпочитает маршрутные такси, экономические показатели городского пассажирского транспорта вырастут – в первую очередь, за счёт прибыльности таксомоторных перевозок. О всех положительных исходах данной стратегии перевозок информация представлена в рисунке 3.

Таблица 3 – Преимущества маршрутного такси по отношению к автобусу и городскому такси (по экономическим и эргономическим признакам)

Преимущества маршрутных таксомоторных перевозок	
Автобусное сообщение	Таксомоторное сообщение
Экономичность перевозки	Рациональное сочетание удобств
- повышение комфортабельности поездки	- снижение стоимости проезда
- учёт индивидуальных требований меньшинства пассажиров	- снижение потребности в водительских кадрах
- повышение скорости сообщения	- повышение экономии топлива



Рисунок 3 – Выгоды от стратегии перехода части пассажиров ГПТ на маршрутные такси

Классификация и типы обеспечения связей маршрутной сети представлены на рисунке 4.

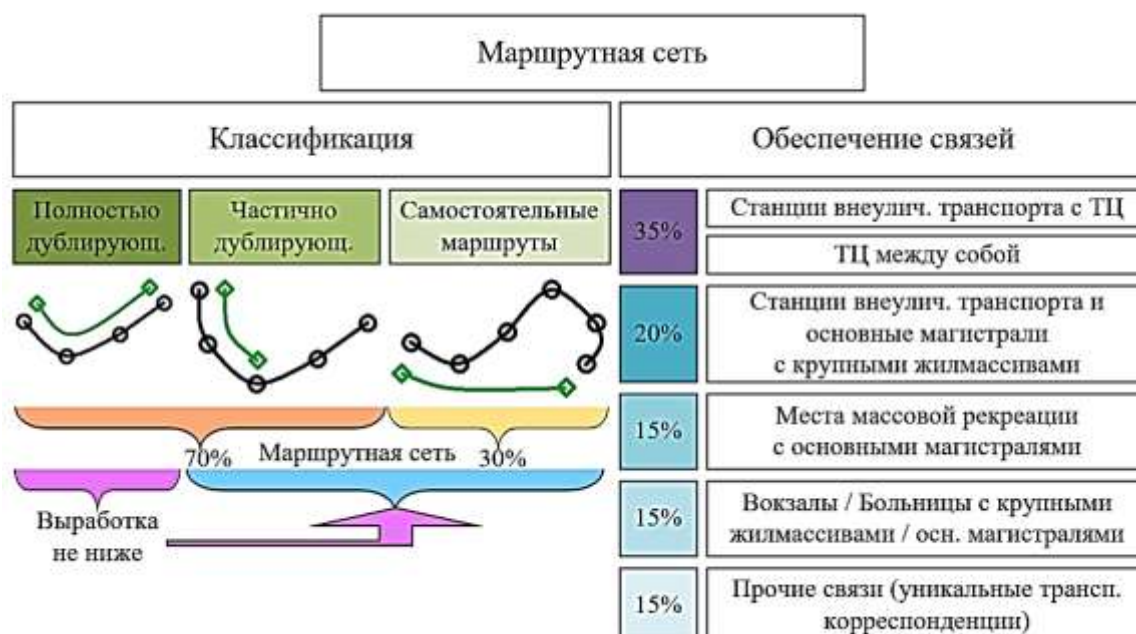


Рисунок 4 – Типология маршрутной сети маршрутных таксомоторных перевозок

Данная система работоспособна при стоимости проезда в 3 раза выше автобусной, однако с коэффициентом наполнения 0,85-0,9 – больше, чем у автобусов. Все маршруты, напрямую или частично, организованы на совместных направлениях с другими видами пассажирского транспорта.

Выводы

В результате проведенных исследований подробно рассмотрены такие виды организации пассажирских перевозок, как регулярная и по заказу. При большем количестве пассажиров больше подходит первый вариант, при меньшем – второй. Оценка эффективности определённого вида транспорта должна идти не от вида или типа ПС, а по пассажировместимости в час. Соответственно, на отдельном маршруте это позволит под осваиваемый им пассажиропоток выбрать вид и класс ПС. В общем коридоре пассажиропоток суммируется. Если пассажирский запрос сформировался таким образом, что основная масса единиц ПС автобусных маршрутов недогружена, а большинство потенциальных пассажиров предпочитает маршрутные такси или таксомоторные перевозки – следует применить модель сервисно-ориентированного подхода (MAAS) для решения таких задач. В целом можно выработать следующие положения развития маршрутной сети данного вида транспорта:

- преимущественное развитие на широтных или тангенциальных направлениях, в сочетании с организацией маршрутов на уникальных направлениях (например, уникальная связь двух жилмассивов через транзитный межрайонный коридор),
- охват маршрутами всех районов города путём повышения плотности их сети на единицу селитебной площади города (обслуживание транспортом улиц, по различным причинам не доступным с точки зрения муниципального транспорта),
- динамическое регулирование выпуска подвижного состава в разные часы суток и повышение эффективности использования подвижного состава (повышение коэффициентов наполняемости, сменности, использования подвижного состава; снижение непроизводительных пробегов),
- межмаршрутное перераспределение подвижного состава в течение рабочего времени (передача машин с малозагруженного маршрута на загруженный в часы пик в случае недогрузки первого и перегрузки последнего),
- организация ночных маршрутов (диаметральные и магистральные направления – НГЭТ, пригородные и внутрирайонные – маршрутные такси),
- создание самостоятельной и отвечающей современным требованиям производственно-технической базы маршрутного таксомоторного транспорта.

Наиболее важными и во многом неосвоенными муниципальным транспортом корреляциями являются связи между центральными и периферийными районами. Интервалы движения на таких маршрутах не должны превышать 10 минут в межпиковое время, в часы пик – от 3 до 6 минут – приемлемое время ожидания. Маршруты должны быть организованы таким образом, чтобы затраты времени на подходы к местам посадки и от мест высадки до мест назначения (последняя миля) не превышали суммарного времени на вызов и ожидание легкового такси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СПб ГУП «Горэлектротранс»: Отчёт о работе предприятия за 2022 год // Из архива Группы анализа пассажиропотоков СПб ГУП «Горэлектротранс».
2. Новиков А.Н., Ерёмин С.В. Методика оценивания пассажиропотоков городской сети общественного транспорта и конкретных параметров маршрутной сети с почасовым объёмом перевозок // Мир транспорта и технологических машин. №4 (67). 2019. С. 50-56.
3. Рогавичене Л.И., Парамонов С.Б. Сравнение методов анализа пассажиропотока маршрутной сети и остановочных пунктов // Научное обозрение: теория и практика. Т. 1. №5 (73). 2020. С. 911-922.
4. Донин С.А. Транспортное планирование, или Кто же не любит быстрой езды? // Журнал «Путевой навигатор». №53. С. 4–17
5. Петров Н.С. К итогам обследования пассажиропотоков по новым и старым маршрутам // Газета «Ленинградские магистрали». №24. 1989.
6. Бешенцев И.Д. Трамвайная система Санкт-Петербурга: история развития и выделение основных проблем // Гуманитарные науки в современном ВУЗе: вчера, сегодня, завтра: Материалы V международной научной конференции. Т. 2. Санкт-Петербург, 2022.

7. Джулай Д.В. Теория Е как стратегия организационных изменений ОАО «ПТМЗ» // Новая наука: опыт, традиции, инновации. №8-1, 2016. С. 111–114.
8. Бешенцев И.Д., Терентьев А.В. Исследование развития транспортного сообщения между г. Кудрово Ленинградской области и районами Санкт-Петербурга // Проблемы преобразования и регулирования региональных социально-экономических систем. 2023. С. 178–193.
9. Мун Э.Е., Рубец А.Д. Организация перевозок пассажиров маршрутными такси. М.: Транспорт, 1986.–136 с.
10. Томилин А.И. Организация движения трамвая и троллейбуса. М.: Стройиздат, 1969.
11. Бешенцев И.Д., Белехов А.А. Сравнение городского пассажирского транспорта мегаполисов на основе показателей различных лет и способы выхода из кризиса // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-4(82). С. 107-116.
12. Коллектив экспертов ЕЭК ООН. Руководство по устойчивой городской мобильности и территориальному планированию. ЕЭК ООН, 2020. 222 с.
13. Вучик В. Транспорт в городах, удобных для жизни: монография. М.: ИД Территория будущего, 2011. 576 с.
14. Silvestri F., Coppola P., Silvestri F. Mobility as a Service (MaaS) bundle uptake: a case study in Milan, Italy – European Transport Research Review. №17(1), 2025. 24 p.
15. Chen L., Yang Y., Wang L., Xie C. Day-to-Day and Within-Day Traffic Assignment Model of Heterogeneous Travelers Within the MaaS Framework – Sustainability 2025. №17, 2025. 29 p.

Фигичев Александр Михайлович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Ст. преподаватель кафедры транспортных систем и дорожно-мостового строительства

E-mail: figichev@mail.ru

Бешенцев Иван Дмитриевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Студент

E-mail: ivanbeshentsev@yandex.ru

A.M. FIGICHEV, I.D. BESHENTSEV

PLANNING OF REGULAR PASSENGER TRANSPORTATION AND PASSENGER TRANSPORTATION BY ORDER: SIMILARITIES AND DIFFERENCES

Abstract. The article examines the application of two main approaches to the organization of passenger transportation: regular passenger transportation and passenger transportation by order. The service-oriented passenger transportation model (MAAS) has found its application at the junction of these two approaches. This model gives results in the case when passenger traffic is insignificant in its quantity, and unstable in distribution. Since transport performs a social function and must meet the demand for population movement, transportation must be carried out in compliance with quality indicators. The experience of St. Petersburg will be mainly considered. The results developed in the framework of the study can be applied in the activities of executive authorities, state-owned enterprises and private business organizations in the integrated planning of passenger transportation.

Keywords: urban transport system, urban ground electric transport (UGET), route taxi transport, passenger transportation, transport efficiency

BIBLIOGRAPHY

1. SPb GUP "Gorelektrotrans": Otchiot o rabote predpriyatiya za 2022 god // Iz arkhiva Gruppy analiza passazhiropotokov SPb GUP "Gorelektrotrans".
2. Novikov A.N., Eriomin S.V. Metodika otsenivaniya passazhiropotokov gorodskoy seti obshchestvennogo transporta i konkretnykh parametrov marshrutnoy seti s pochasovym ob"iomom perevozok // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. №4 (67). 2019. S. 50-56.
3. Rogavichene L.I., Paramonov S.B. Sravnenie metodov analiza passazhiropotoka marshrutnoy seti i ostano-

vochnykh punktov // Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika. T. 1. №5 (73). 2020. S. 911-922.

4. Donin S.A. Transportnoe planirovanie, ili Kto zhe ne lyubit bystroy ezdy? // ZHurnal "Putevoy navigator". №53. S. 4-17

5. Petrov N.S. K itogam obsledovaniya passazhiropotokov po novym i starym marshrutam // Gazeta "Leningradskie magistrali". №24. 1989.

6. Beshentsev I.D. Tramvaynaya sistema Sankt-Peterburga: istoriya razvitiya i vydelenie osnovnykh problem // Gumanitarnye nauki v sovremennom VUZe: vchera, segodnya, zavtra: Materialy V mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. T. 2. Sankt-Peterburg, 2022.

7. Dzhulay D.V. Teoriya E kak strategiya organizatsionnykh izmeneniy OAO "PTMZ" // Novaya nauka: opyt, traditsii, innovatsii. №8-1, 2016. S. 111-114.

8. Beshentsev I.D., Terent'ev A.V. Issledovanie razvitiya transportnogo soobshcheniya mezhdru g. Kudrovo-Leningradskoy oblasti i rayonami Sankt-Peterburga // Problemy preobrazovaniya i regulirovaniya regional'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem. 2023. S. 178-193.

9. Mun E.E., Rubets A.D. Organizatsiya perevozok passazhirov marshrutnymi taksi. M.: Transport, 1986.-136 s.

10. Tomilin A.I. Organizatsiya dvizheniya tramvaya i trolleybusa. M.: Stroyizdat, 1969.

11. Beshentsev I.D., Belekhev A.A. Sravnenie gorodskogo passazhirskogo transporta megapolisov na osnove pokazateley razlichnykh let i sposoby vykhoda iz krizisa // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-4(82). S. 107-116.

12. Kollektiv ekspertov EEK OON. Rukovodstvo po ustoychivoy gorodskoy mobil'nosti i territorial'nomu planirovaniyu. EEK OON, 2020. 222 s.

13. Vuchik V. Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni: monografiya. M.: ID Territoriya budushchego, 2011. 576 s.

14. Silvestri F., Coppola P., Silvestri F. Mobility as a Service (MaaS) bundle uptake: a case study in Milan, Italy - European Transport Research Review. №17(1), 2025. 24 p.

15. Chen L., Yang Y., Wang L., Xie C. Day-to-Day and Within-Day Traffic Assignment Model of Heterogeneous Travelers Within the MaaS Framework - Sustainability 2025. №17, 2025. 29 p.

Figichev Alexander Mikhailovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 190005, Russia, Saint Petersburg, 2-ya Krasnoarmeyskaya St., 4

Senior Lecturer, Department of Transport Systems and Road and Bridge Construction

E-mail: figichev@mail.ru

Beshentsev Ivan Dmitrievich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 190005, Russia, Saint Petersburg, 2-ya Krasnoarmeyskaya St., 4

Student

E-mail: ivanbeshentsev@yandex.ru

Е.В. МИРОШНИКОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПЕРЕВОЗОЧНОМ ПРОЦЕССЕ

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы, относящиеся к транспортно-логистическим процессам. Представлена транспортная модель, позволяющая оценить меры, направленные на оптимальное решение по перераспределению грузов и выбору наиболее экологичному виду транспорта. Приведены современные модели и методы, направленные на совершенствование транспортных услуг. Обосновано применение теории нечетких множеств для принятия решений в логистике. Представлена структурная схема выбора рационального варианта на основе теории нечетких множеств.

Ключевые слова: логистика, транспортно-логистический комплекс, логистическая система, мультимодальные перевозки, теория нечетких множеств, нечеткая логика

Введение

Ежегодно во всем мире происходит развитие в сфере транспортных услуг посредством внедрения инновационных продуктов, направленных на быстрое, качественное и эффективное обслуживание транспортно-логистических комплексов. Они играют ключевую роль при создании рыночной системы транспортных услуг [1-4].

Грамотно выстроенный план логистических процессов позволяет эффективно управлять перевозками грузов. Логистика является звеном, соединяющим между собой отправляющую и принимающую стороны. В основе данного процесса заложены ключевые характеристики, а именно, время, цена, качество. Временной фактор направлен на сокращение продолжительности нахождения груза в пути до конечного пункта, стоимостный – снижение цены за транспортную услугу посредством применения инноваций, качественный – своевременное получение заказов, а также контроль при нахождении в пути. Совокупность представленных характеристик составляет логистическая система. В логистической системе имеются объекты информационного и материального потоков. Для первого объекта используются электронный документооборот, автоматизированные инфосистемы, для второго непосредственно транспортные средства, пункты приема, центры для сортировки грузов, а также транспортно-логистические комплексы.

Сегодня популярностью пользуются транспортно-логистические комплексы, благодаря которым происходит сортировка и перераспределение товарных единиц до пункта назначения. Именно здесь рациональным является применение мультимодальных транспортных перевозок, которые включают в себя использование различных видов транспорта, а также доставку посредством контейнеров [5-7].

В области транспортно-логистических услуг главную роль при принятии решений играют транспортные модели (рис. 1).

В связи со стремительным ростом автомобильного парка использование транспортных моделей находится в диапазоне в зависимости от предмета анализа. В основе проектирования транспортных моделей заложены процедуры, которые зависят от решаемых задач и дальнейшего назначения.

Целью транспортной модели является оценка мер, направленных на оптимальное решение перераспределения грузов наиболее экологическим видами транспорта.

Создание современной инфраструктуры позволит удовлетворить имеющийся спрос на транспортные услуги. Для построения транспортной модели необходимо, во-первых, осуществить оценку состояния грузовых перевозок, учитывающую стратегические мероприятия, запланированные на изучаемой территории. Во-вторых, необходимость моделирования по-

добных ситуаций на базе запланированных мер, связанных со стратегией развития региона, в результате чего имеется необходимость перераспределения грузов между различными видами транспорта (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема транспортной модели

Материал и методы

Внедрение новейших технологий, способствующих эффективному управлению перевозочным процессом, вовлечению инвестиций в транспортную отрасль позволяет делать востребованными высококвалифицированные кадры, владеющие рядом умений и навыков в области логистики. Все это позволяет улучшить деятельность в рамках цифровизации экономики, направленной на изменение процессов, происходящих не только на производстве, но и при управлении транспортно-логистическими процессами.

Модели и методы, направленные на совершенствование транспортных услуг, приведены на рисунке 2.

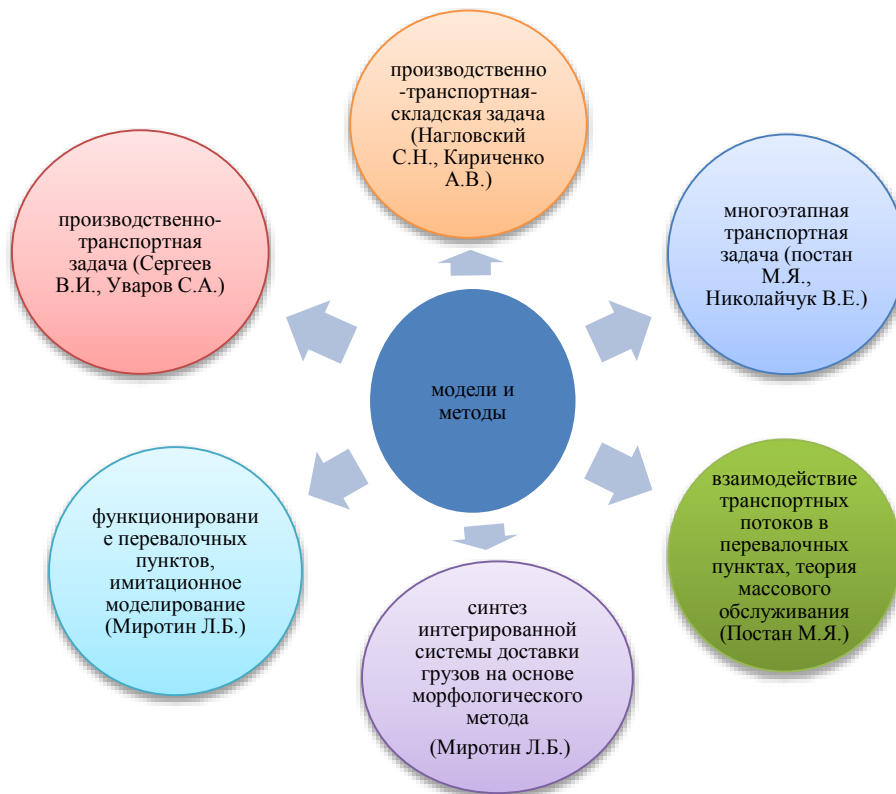


Рисунок 2 – Модели и методы, используемые в транспортно-логистическом процессе

В указанных моделях: присутствует увеличение количества показателей и количества переменных; заложена классическая транспортная задача, ее изменение; относятся к статическим, а не к динамическим, несмотря на то, что в моделях присутствуют временные ряды; отсутствие подходов, позволяющих учитывать логистические алгоритмы, направленные на обеспечение интеграции логистических целей; отсутствие учета возможности управления в цепях поставок транспортными средствами.

Проведенный анализ научных трудов в сфере автомобильных перевозок, экономике транспортных услуг свидетельствует о том, что наибольшая часть предлагаемых в них моделей базируется на классической транспортной задаче. При этом каждая модель представлена в виде частного случая, либо в виде различного характера модификаций.

В логистике одной из главных функций является транспортировка, так как перемещение готовых продуктов, материальных ресурсов, неоконченного производства должна соответствовать необходимым требованиям, предъявляемым к данной технологии. Упаковка товаров, их перемещение, таможенные процедуры и страхование также включает в себя транспортировку (рис. 3).

Согласно [4] в России имеется подход к определению основных функций логистики, которые заключаются в закупке, транспортировке, сбыте продукции. В свою очередь источники [8, 9] логистику рассматривают масштабно. Мировая классификация подтверждает, что каждое действие, проводимое с грузами имеет свою функцию или же входит в подкатегорию функции. Представим мировую классификацию функций логистики.

Логистика имеет множество ролей, хотя кажется, что перевозочный процесс заключается только лишь в доставке груза из одного пункта в другой. Но это одна из самых известных функций. На самом деле во время осуществления перевозки грузов с ним происходит десятки различного рода операций.

Функции логистики согласно международной классификации представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Функции логистики

Таким образом, выполнение всех функций в логистике, а именно, операции транспортирования происходит посредством обеспечения необходимой продукции в надлежащем качестве и в нужном количестве за определенный лимит времени с оптимальными расходами. Выполнение каждой функции должно стремиться к минимальному времени и минимальным

затратам. С этой целью имеется необходимость в применении и разработке новейших технологий, методов, моделей, способствующих рациональному функционированию всего транспортно-логистического комплекса.

Теория

Теория нечетких множеств позволяет разрабатывать системы поддержки принятия решений, а также экспертные системы анализа данных, основанные на абстрактном мышлении человека, что в дальнейшем позволяет, автоматизировано управлять грузовыми перевозками, экономя при этом не только деньги, но и исключая ошибки человеческого фактора.



Рисунок 4 – Концептуальная схема процессов системного моделирования

Построение адекватной модели в общем контексте решения исходной проблемы является целью определенного этапа. Структуризация подразумевает определение и конкретизацию установленной границы изучаемой области, состава систем, которые возможно решат изначально существующую проблему. Вся информация должна соответствовать рассматриваемой области, а также представлена на формально-логическом языке в роли модели системы.

Согласно теории, указанной автором А. Леоненковым [10, 11]: «Процесс разработки адекватных моделей и их последующего конструктивного применения требует не только знания общей методологии системного анализа, но и наличия соответствующих изобразительных средств или языков для фиксации результатов моделирования и их документирования. Очевидно, что естественный язык не вполне подходит для этой цели, поскольку обладает неоднозначностью и неопределенностью».

Подводя итоги выше сказанному, возможно, сделать вывод, что построение модели требует использования формально-теоретических методов. В основе данных методов заложен алгоритм математических и логических инструментов моделирования.

Достигнуть поставленной цели возможно посредством применения языков моделирования, графических нотаций, отражающих всю тонкость задач, в основе которых использование программных инструментариев [12-15].

В жизни человека существует множество различных задач с различными неопределенностями, сгруппированными как многоуровневая система, имеющая свою иерархию. С такого рода задачами, как принятие решений, позволяет быстро и качественно справиться теория нечетких множеств. Именно данная теория адекватно позволяет учесть огромное количество факторов, имеющих неопределенность и расплывчатость значений.

В формализованный вид необходимо приводить все параметры системы. Данные, относящиеся к системе, обязательно должны быть приведены к одной форме. Циклы функционирования подсистем, целевые функции, спектр допустимости и эффективности, выбор приоритета режимов функционирования системы, возможные риски и многое другое составляют систему. Рассматриваемые параметры представляются в виде функций принадлежности. Вся информация, а именно, статистическая, детерминированная, стохастическая, лингвистическая преобразуются в единую форму.

Ежегодно вариантов решения задач по принятию решений становится больше. Однако, следует отметить, что значительная их часть упрощена, а именно, их целью является снижение сложности данного процесса, что приводит к ограничению возможностей модели и недостаточно точно раскрывает реальность имеющихся событий. Ценность результатов сильно снижается, что приводит к возникновению неверных решений, а, следовательно, результатов.

К источнику неопределенности относятся часто в различного рода областях нечеткость и расплывчатость. Например, в широких масштабах используется математический аппарат теории вероятностей. Здесь присутствуют неопределенные величины. При этом определенность рассчитывается как случайность, случайный процесс, случайное событие.

Под «нечеткостью» понимается вид математической операции, в котором имеются разные уровни принадлежности. Их относят к промежуточным, так как они находятся между границами непринадлежности и полной принадлежности рассматриваемых объектов исследования. Это происходит в момент, когда объект имеет принадлежность к не расплывчатому множеству в сравнении со случайностью.

Особое внимание нужно уделять выбору формального языка. На базе теории нечетких множеств описание самого процесса принятия решений превосходит иные системы и модели. Именно формальный язык дает возможность адекватно описывать детальный процесс принятия решений с нечеткими условиями. Лингвистические переменные в свою очередь позволяют определять значения и работать при нечетких условиях.

Применение теории вероятностей и теории нечетких множеств позволяет решать задачи, проблемы, связанные с неточными исходными данными, выдавая при этом абсолютно адекватные значения, при том, что перечисленные теории имеют абсолютно разные неопределенности.

В данной статье в качестве примера приведен способ решения задачи по выбору рационального варианта в сфере логистических процессов. Задача рационализации решается посредством выбора, например, вида транспорта для перевозки различных грузов. Но, построение целевой функции с помощью классических математических методов не представляется возможным, поскольку имеется перечень неточной информации о возможных факторах. В данном случае, возможно, решить такого рода проблему посредством одной из областей математики, а именно, теории нечетких множеств [16, 17].

Первостепенно для решения поставленной задачи в сфере логистики необходимо определить основные критерии, влияющие на перевозочный процесс в зависимости от поставленной цели задачи:

T_1 – первый критерий;

T_2 – второй критерий;

$T_{...}$ – ... критерий;

T_n – n-й критерий.

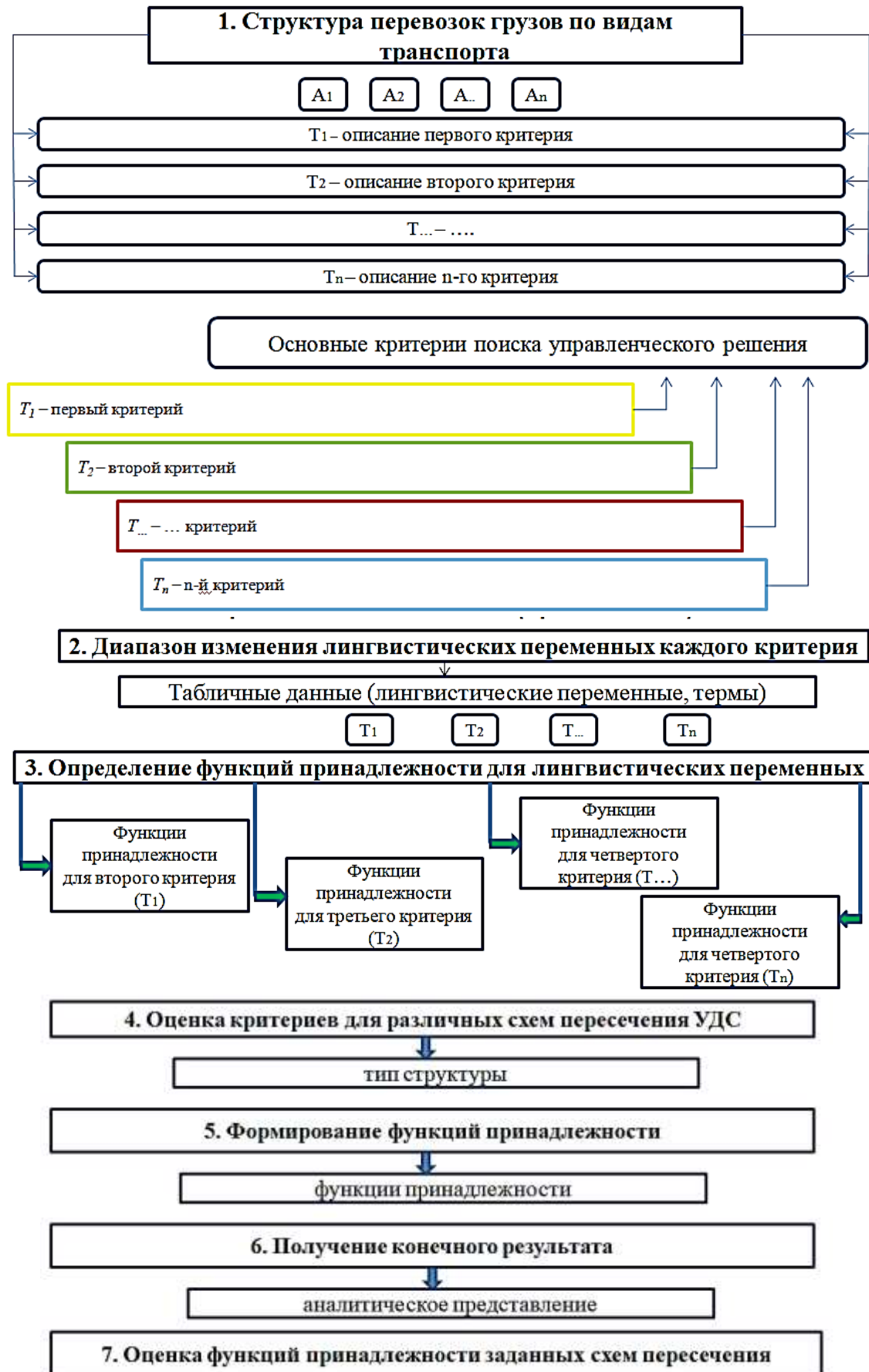


Рисунок 5 – Структурная схема выбора рационального варианта на основе теории нечетких множеств

Экспертные оценки совместно со статистическими данными об изменениях значений способствуют определению количественной оценки каждого критерия.

Чтобы решить такие задачи существует ни один вариант. Как один из вариантов - критерии одинаковой степени важности.

Как говорится в научных трудах А. Леоненкова: «При критериях с одинаковой степенью важности, если имеется j критериев T_1, T_2 , и ..., и T_j , то лучшей считается альтернатива, удовлетворяющая критерию T_1 , и T_2 , и ..., и T_j . Наилучшая альтернатива записывается в виде пересечения соответствующих нечетких множеств» [11, 18-20]:

$$M = T_1 \cap T_2 \cap \dots \cap T_j. \quad (1)$$

В научных трудах [11, 18-20]: «Представленное выше выражение соответствует операции минимум, следовательно, необходимо выбрать альтернативу с наибольшим значением функции принадлежности. Степень принадлежности соотношения структур перевозочного процесса к заданным критериям описывается лингвистическими переменными с помощью функций принадлежности $\mu_j(T_j)=[0; 1]$. Лингвистические переменные, которые соответствуют каждому критерию T_j , называются точно также». Диапазон возможных соотношений перевозки различных грузов многими видами транспорта представляется в виде абсолютно разных возможных вариантов, например, $A=7$; a – номер конкретного варианта, $a = 1, 2, \dots, 7$ [20].

Выводы

Таким образом, следует отметить главный факт, что одной из важнейших особенностей жизнеспособности теоретической концепции является реализация и имеющаяся возможность поддержки в различных программах. Область применения теории нечетких множеств и нечеткой логики стремительными темпами расширяется. Представленная структурная схема выбора рационального варианта на основе теории нечетких множеств позволит разработать математическую модель рационального выбора варианта в сфере логистического процесса.

Благодарность

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегии цифровой трансформации [Электронный ресурс] / Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: сайт. URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/1064/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyanindex.ru%2f.
2. Дитрих Е.И. Транспортная отрасль обеспечивает до 7 % ВВП России [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnikstroy.ru/articles/infrastructure/evgeniy-ditrikh-transportnaya-otrasl-obespechivaet-do-7-vvp-rossii/?ysclid=leiii1iih656421595>.
3. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р [Электронный ресурс]. URL: <http://mintrans.gov.ru/documents/8/11577?ysclid=leiii1iih656421595>.
4. Россия в цифрах: краткий статистический сборник. 2021 [Электронный ресурс] / Росстат. М., 2021. 257 с. URL: <http://www.online-documents.ru/report/2021/russia/12/>.
5. Спешилова Н.В., Спешилов Е.А. Анализ состояния транспортной отрасли и проблемы развития логистических систем в России в условиях цифровизации // Экономика и предпринимательство. 2022. №2(139). С. 670–674. DOI: 10.34925/EIP.2022.139.2.126
6. Крегель Д.А. Роль транспортной отрасли в инновационном развитии экономики // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2018. № 1. С. 6–13. DOI: 10.18384/2310-6646-2018-1-6-13.
7. Краснощеков А.Д., Кулагин П.А. Математический аппарат моделирования логистических процессов на транспорте / Вестник ВГАВТ, 39, 2014. С. 159-163.
8. Якимов М.Р. Подходы к формированию эффективной маршрутной сети крупных городов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2022. №19(3). С. 398-410.
9. Солодкий А.И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России: проблемы и пути их решения. Новый этап // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. №6. С. 10-19.

10. J. Bezdek A convergence theorem for the fuzzy ISODATA clustering algorithm. – IEEE Workshop Lang. Autom, 1983. P. 247-252.
11. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ - Петербург, 2005. 736 с.
12. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. М.: Мир, 1978. 165 с.
13. Болодурина И.П., Спешиллов Е.А. Применение правил нечеткой логики для анализа данных и принятия решений при управлении грузоперевозками // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2023. Т. 23. №2. С. 52-64.
14. J. Bezdek A convergence theorem for the fuzzy ISODATA clustering algorithm // IEEE Workshop Lang. Autom, 1983. P. 247-252.
15. M. Sugeno Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey // Fuzzy Automata and Decision Processes. 1977. P. 89-102.
16. L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Kambur, A. Novikov. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration // Journal of Applied Engineering Science 2022. Vol. 20 (3). P. 700-706.
17. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Glagolev S.N., Novikov I.A. Traffic light regulation calculation using fuzzy inference // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Vol. 8. P. 24900–24907.
18. Кущенко Л.Е., Королёва Л.А., Еремин С.В., Савенкова А.Ю. Определение рационального варианта программы подготовки кандидатов в водители на основе теории нечетких множеств // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-1 (85). С. 82-92.
19. Кущенко Л.Е., Глаголев С.Н., Кущенко С.В., Одинцов Д.В. Решение задачи оптимизации выбора структуры транспортного узла с учетом различных соотношений методом нечетких множеств // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №4(75). С. 83-89.
20. Кущенко Л.Е. Научные основы повышения безопасности дорожного движения в городских агломерациях: дис. ... д-ра техн. наук: 2.9.5. Орел, 2024. 301 с.

Мирошников Евгений Владимирович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., доцент

E-mail: evmiroshnikov@gmail.com

E.V. MIROSHNIKOV

THE FUZZY SET THEORY APPLICATION TO DECISION MAKING IN THE LOGISTICS PROCESS

Abstract. *This article considered issues related to transport and logistics processes. The transport model makes it possible to evaluate measures aimed to the optimal solution for the redistribution of goods and the choice of the most environmentally friendly mode of transport. Modern models and methods aimed at improving transport services are presented. The application of fuzzy set theory for decision-making in logistics is substantiated. The structural scheme of choosing a rational option based on the theory of fuzzy sets is presented.*

Keywords: *logistics, transport and logistics complex, logistics system, multimodal transportation, theory of fuzzy sets, fuzzy logic*

BIBLIOGRAPHY

1. Strategii tsifrovoy transformatsii [Elektronnyy resurs] / Ministerstvo tsifrovogo razvitiya, svyazi i massovyykh kommunikatsiy Rossiyskoy Federatsii: sayt. URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/1064/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f.
2. Ditrikh E.I. Transportnaya otrasl' obespechivaet do 7 % VVP Rossii [Elektronnyy resurs]. URL: <http://vestnikstroy.ru/articles/infrastructure/evgeniy-ditrikh-transportnaya-otrasl-obespechivaet-do-7-vvp-rossii/?ysclid>.
3. Ob utverzhdenii Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda: Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 27 noyabrya 2021 goda № 3363-r [Elektronnyy resurs]. URL: <http://mintrans.gov.ru/documents/8/11577?ysclid=leiii1iih656421595>.
4. Rossiya v tsifrah: kratkiy statisticheskiy sbornik. 2021 [Elektronnyy resurs] / Rosstat. M., 2021. 257 s. URL: <http://www.online-documents.ru/report/2021/russia/12/>.

5. Speshilova N.V., Speshilov E.A. Analiz sostoyaniya transportnoy otrasli i problemy razvitiya logisticheskikh sistem v Rossii v usloviyakh tsifrovizatsii // *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2022. №2(139). S. 670-674. DOI: 10.34925/EIP.2022.139.2.126
6. Kregel` D.A. Rol` transportnoy otrasli v innovatsionnom razvitii ekonomiki // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Ekonomika*. 2018. № 1. S. 6-13. DOI: 10.18384/2310-6646-2018-1-6-13.
7. Krasnoshchekov A.D., Kulagin P.A. Matematicheskiy apparat modelirovaniya logisticheskikh protsessov na transporte / *Vestnik VGAVT*, 39, 2014. S. 159-163.
8. YAkimov M.R. Podkhody k formirovaniyu effektivnoy marshrutnoy seti krupnykh gorodov // *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. 2022. №19(3). S. 398-410.
9. 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.
10. J. Bezdek A convergence theorem for the fuzzy ISODATA clustering algorithm. - *IEEE Workshop Lang. Autom*, 1983. R. 247-252.
11. Leonenkov, A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzy TECH. SPb.: BHV - Peterburg, 2005. 736 s.
12. Zade L.A. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy: *Per. s angl. M.: Mir*, 1978. 165 s.
13. Bolodurina I.P., Speshilov E.A. Primeneniye pravil nechetkoy logiki dlya analiza dannykh i prinyatiya resheniy pri upravlenii gruzoperevozkami // *Vestnik YUUrGU. Seriya "Komp'yuternye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika"*. 2023. T. 23. №2. S. 52-64.
14. J. Bezdek A convergence theorem for the fuzzy ISODATA clustering algorithm // *IEEE Workshop Lang. Autom*, 1983. R. 247-252.
15. M. Sugeno Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey // *Fuzzy Automata and Decision Processes*. 1977. R. 89-102.
16. L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Kambur, A. Novikov. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration // *Journal of Applied Engineering Science* 2022. Vol. 20 (3). R. 700-706.
17. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Glagolev S.N., Novikov I.A. Traffic light regulation calculation using fuzzy inference // *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Vol. 8. P. 24900-24907.
18. Kushchenko L.E., Koroliova L.A., Eremin S.V., Savenkova A.YU. Opredeleniye ratsional'nogo varianta programmy podgotovki kandidatov v voditeli na osnove teorii nechetkikh mnozhestv // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №2-1 (85). S. 82-92.
19. Kushchenko L.E., Glagolev S.N., Kushchenko S.V., Odintsov D.V. Resheniye zadachi optimizatsii vybora struktury transportnogo uzla s uchetom razlichnykh sootnosheniy metodom nechetkikh mnozhestv // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2021. №4(75). S. 83-89.
20. Kushchenko L.E. Nauchnye osnovy povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v gorodskikh aglomeratsiyakh: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 2.9.5. Orel, 2024. 301 s.

Miroshnikov Evgeny Vladimirovich

Belgorod State Technological University

Address: 308012, Russia, Belgorod Kostyukova str., 46

Candidate of Technical Sciences

E-mail: evmiroshnikov@gmail.com

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

УДК 565.1

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-45-54

А.М. ЩЕЛУДЯКОВ, М.Г. БОЯРШИНОВ

АУДИО-ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Аннотация. В данной работе представлен подход по аудио-идентификации автомобилей в транспортном потоке на основе анализа амплитудно-частотных характеристик, полученных с помощью быстрого преобразования Фурье (Fast Fourier Transform) временных сигналов уровня шума, зарегистрированных на дороге общего пользования.

Ключевые слова: автомобиль, транспортный поток, уровень шума, оценка уровня шума

Введение

Ежегодное увеличение уровня автомобилизации в России, появление транспортных средств новых конструкций приводит к повышению уровня шума от транспортного потока. Наиболее уязвимыми с этой точки зрения являются жители крупных мегаполисов, чьи жилые дома располагаются вблизи от транспортных магистралей. Существующие технологии с применением шумовых экранов, снижением скорости транспортного потока, его дифференциации и прочих регулятивных факторов не позволяет эффективно бороться с этой проблемой. Контроль такого уровня шума несет высокий социальный эффект для жителей крупных городов России.

Результаты исследования [1] показывают, что уровень шума от транспортного потока за последнее время значительно увеличился. Статистика Роспотребнадзора подтверждает рост числа обращений граждан с требованием контроля и нормализации вредного шумового воздействия. Общемировой опыт показывает, что правительства многих стран задумались о нормировании транспортного шума, его контроля и разработке способов управления на стадии проектирования автомобильных дорог и искусственных транспортных сооружений [2-12]. Рассматриваются предпосылки для моделирования шумового воздействия транспортных средств, находящихся в эксплуатации на дорогах общего пользования, разработки новых конструкций систем выпуска и методов эффективной разработки двигателей транспортных средств с пониженным уровнем шума, низким коэффициентом лобового сопротивления и др. [13-22]. Авторы публикаций [18, 20, 21, 23-25] рассматривают способы управления транспортными потоками и внедрение сооружений на дорогах, позволяющих снизить акустическое воздействие на участников дорожного движения и жителей мегаполиса.

Как за рубежом, так и в России обсуждаются нормы и методы оценки влияния транспортного шума на здоровье человека. Дифференцированная количественная оценка риска воздействия шума на здоровье человека описаны в документах ВОЗ и стандарте ISO 1999:2013.

Статистика показывает, что основной элемент транспортного потока в городе — это легковые транспортные средства. Источниками шума являются систем выпуска, двигатель внутреннего сгорания, взаимодействие воздушного потока с кузовом автомобиля и шин с дорожным покрытием. Грузовой транспорт может оказывать значительное увеличения уровня шума при проезде неровностей и конструктивных элементов дорожного покрытия.

Материал и методы

Рассматривается возможность идентификации транспортного средства в случайном потоке автомобилей на основе использования цифровой записи шума от единичного автомобиля (Опель «Антар»), движущегося по свободной дороге с различными скоростями.

Основная гипотеза исследования: каждый автомобиль имеет уникальную амплитудно-частотную характеристику (АЧХ), построенную на основе цифровой записи шума от дви-

жущегося автомобиля с помощью быстрого преобразования Фурье; уникальная АЧХ позволит при необходимости выявить присутствие этого автомобиля в случайном потоке транспортных средств.

Записи шума от движущегося автомобиля проводились в городе Перми в марте-апреле 2025 года на участке улично-дорожной сети (УДС, рис. 1).



Рисунок 1 - Участок дороги общего пользования для записи шума от движущегося автомобиля (город Пермь)

Теория

В результате проведения натурного наблюдения получены звуковые файлы, отражающие зависимость от времени звукового давления в пункте регистрации такого сигнала (рис. 2).

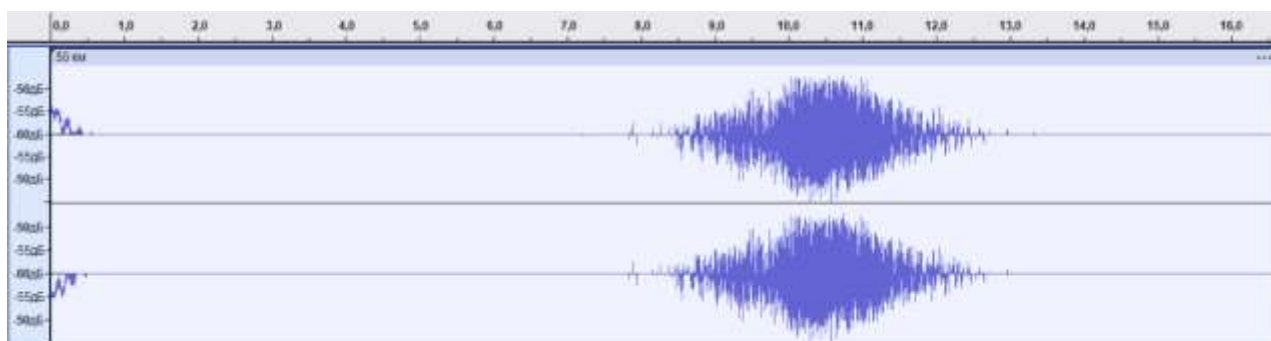


Рисунок 2 - Фрагмент зависимости от времени звукового давления, полученный в результате измерения звука движущегося транспортного средства

На рисунке 3 приведены амплитудно-частотные характеристики, полученные при обработке звуковых файлов с помощью процедуры быстрого преобразования Фурье: зависимости амплитуды интенсивности звукового давления как функции соответствующих частот звуковых волн. На этом же рисунке показана аппроксимация представленных АЧХ с использованием логарифмических функций

$$A_V = a_V \ln(f) + b_V,$$

с помощью метода наименьших квадратов. Здесь a_V и b_V – аппроксимирующие константы.

На рисунке 4 приведены амплитудно-частотные характеристики, полученные при обработке звуковых файлов, полученных при записи шума при движении автомобиля Опель «Антар» со скоростями 40, 60 и 80 км/ч в составе случайного потока транспортных средств.

В таблице 1 представлены аппроксимирующие зависимости для АЧХ для всех скоростей движения рассматриваемого автомобиля, а также показатель R^2 детерминации, характеризующий качество выполненного приближения. Поскольку во всех случаях R^2 превышает 0,75, следует признать, что представленные аппроксимирующие функции удовлетворительно описывают полученные амплитудно-частотные характеристики.

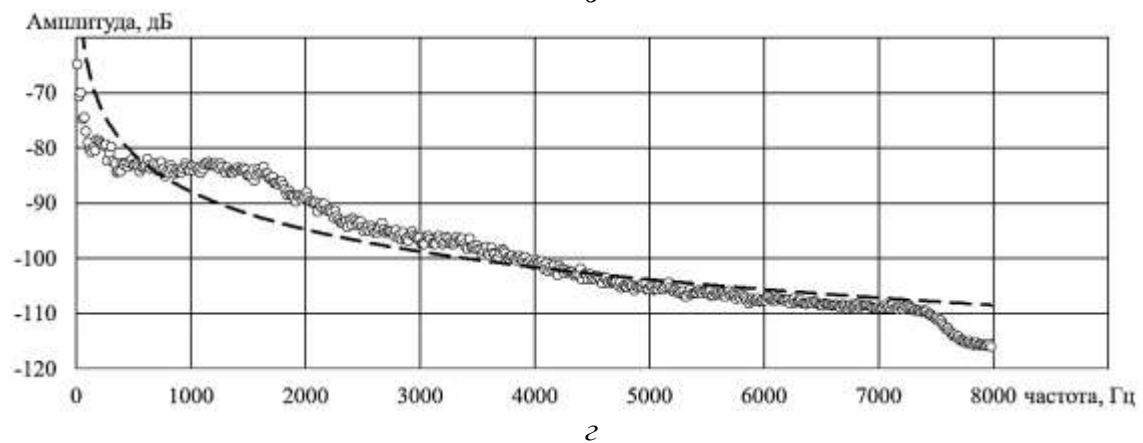
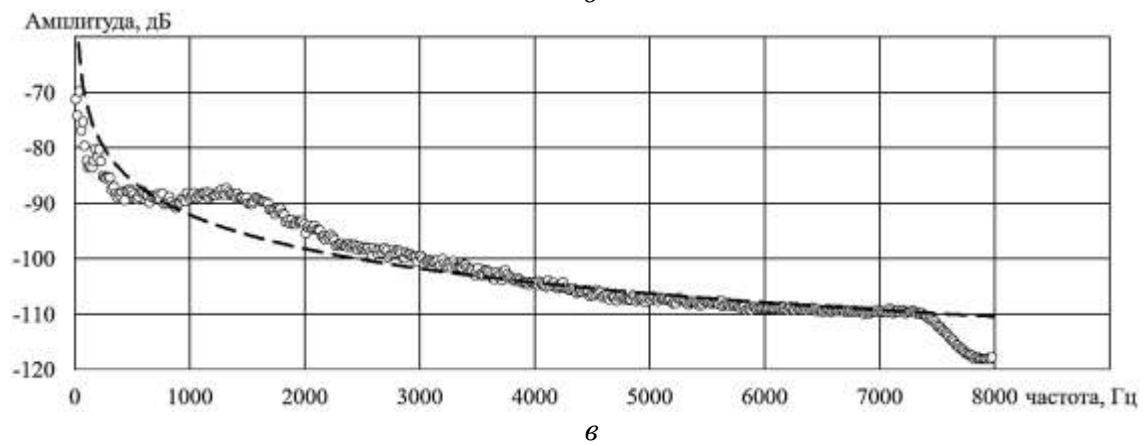
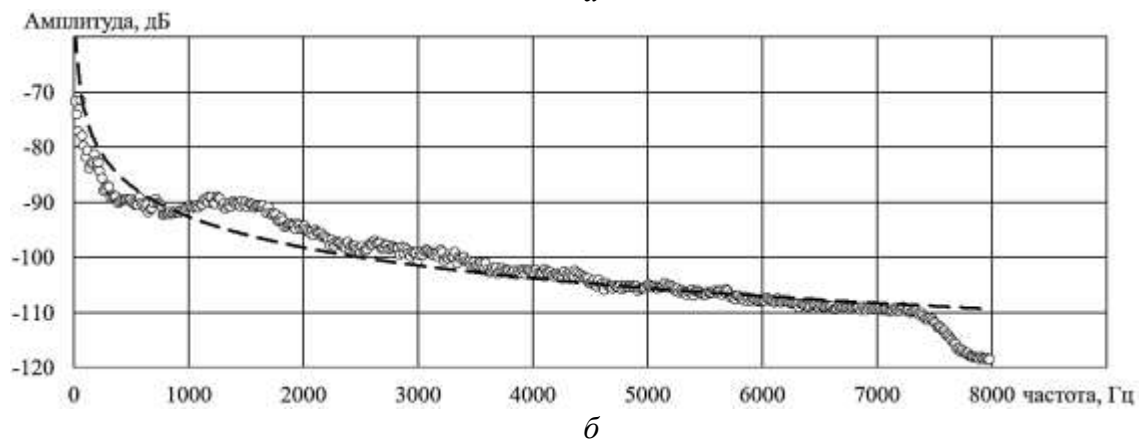
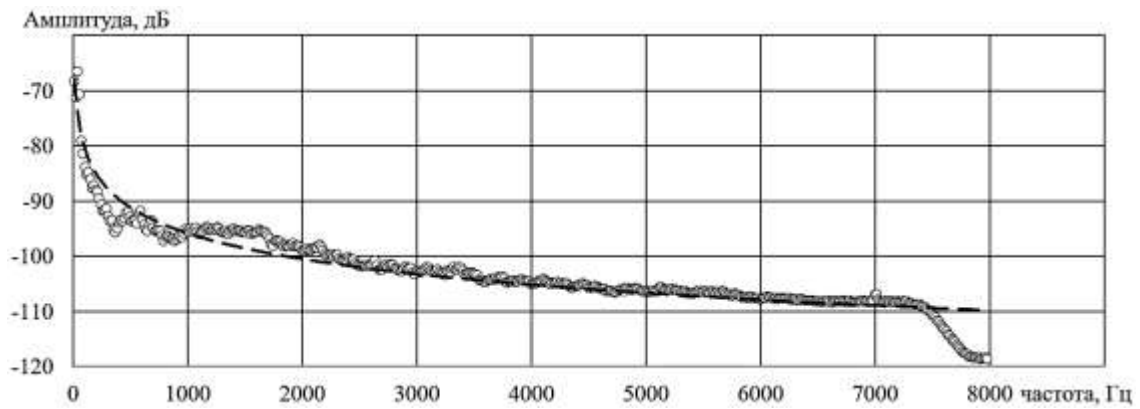
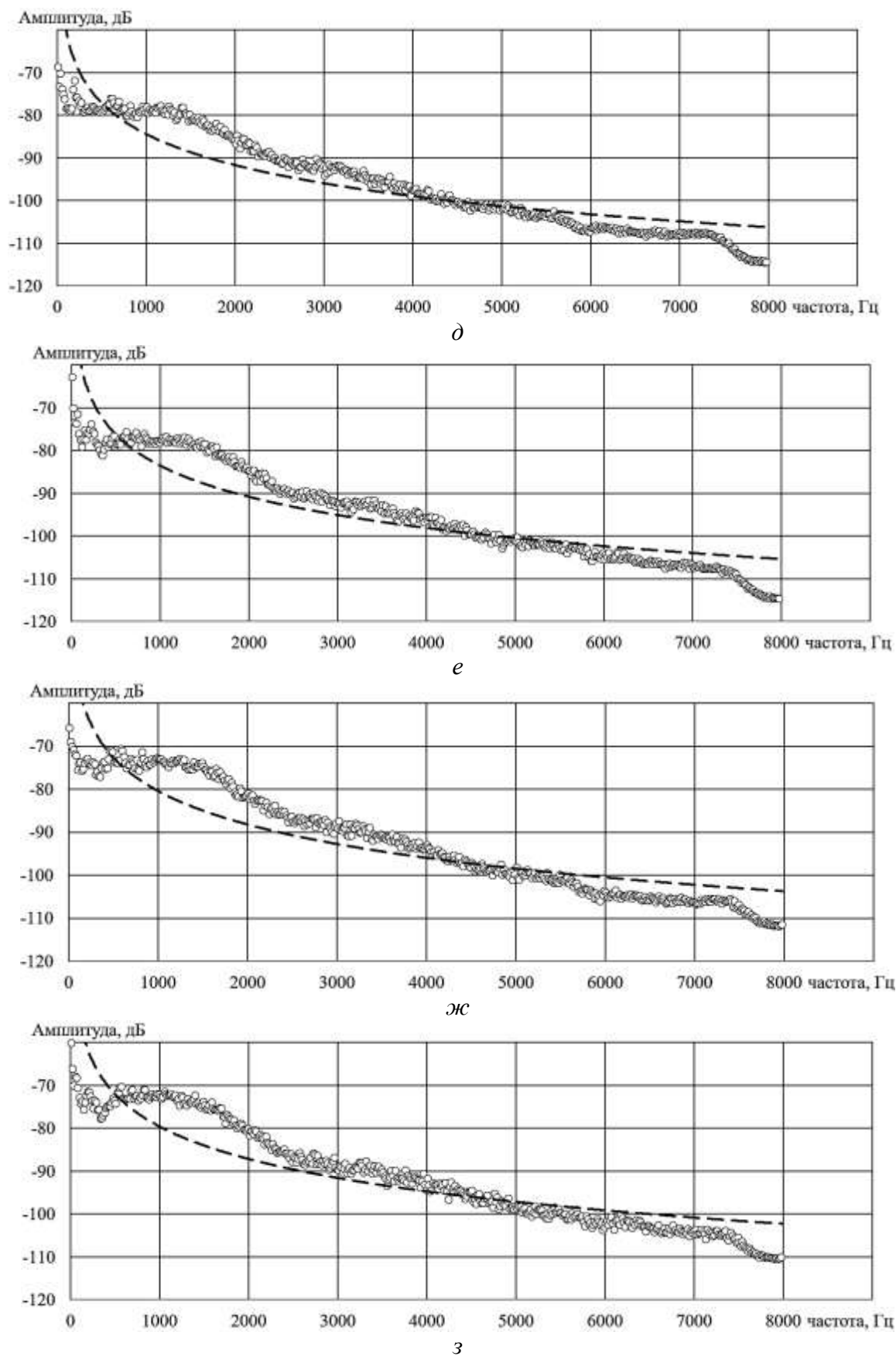
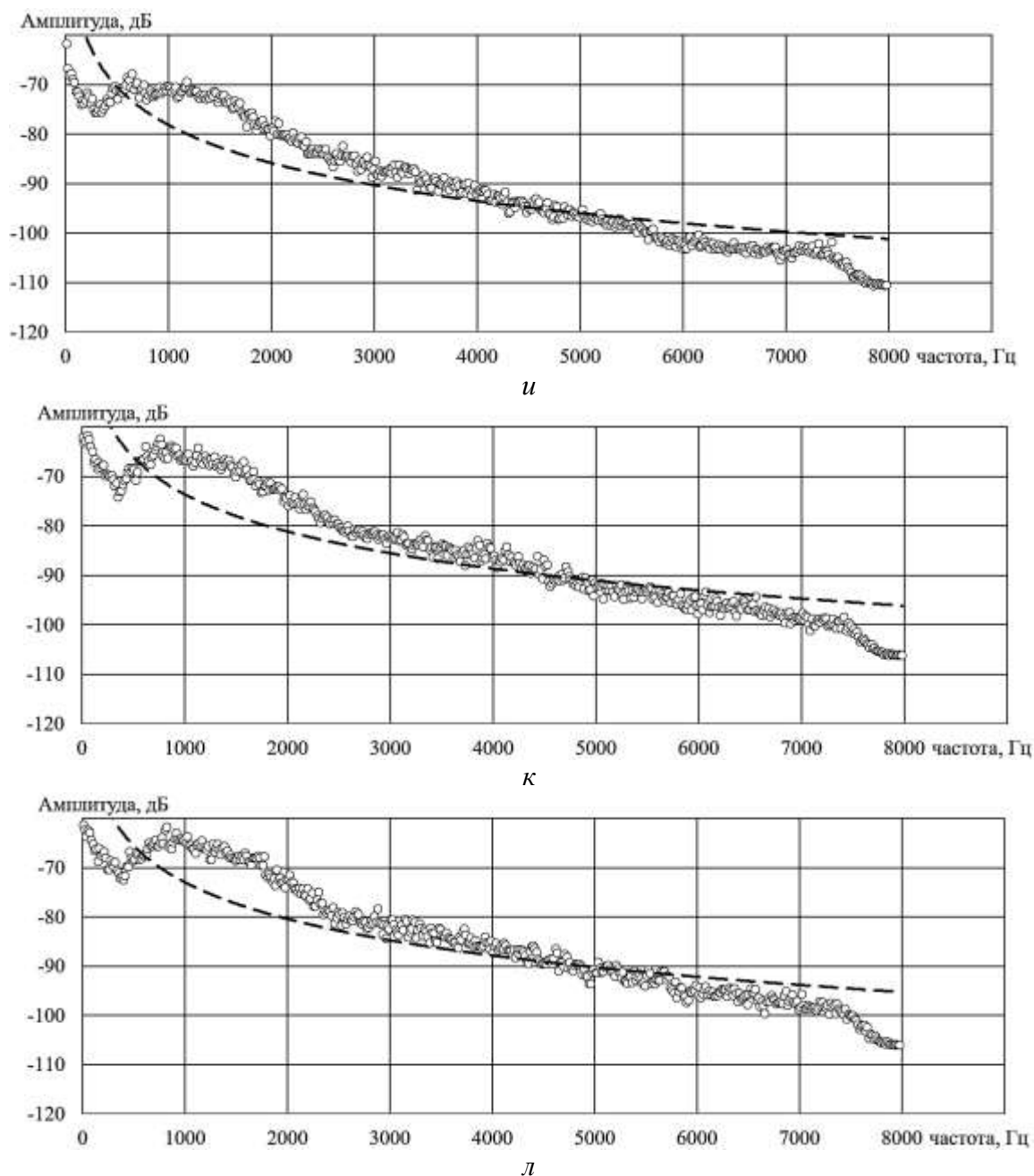


Рисунок 3 - Амплитудно-частотная характеристика (о) автомобиля Опель Антара при движении со скоростью 10 (а), 20 (б), 30 (в) и 40 км/ч (г); (---) аппроксимация логарифмической функцией.
Разработано авторами



Продолжение рисунка 3. Движение автомобиля Опель «Антара» со скоростью 50 (д), 60 (е), 70 (ж) и 80 км/ч (з). Разработано авторами

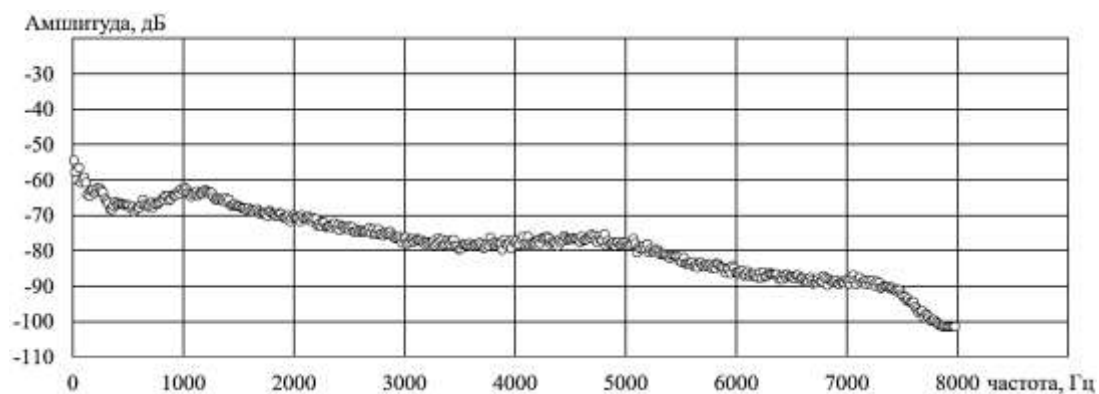


Продолжение рисунка 3. Движение автомобиля Опель «Антар» со скоростью 90 (и), 100 (к) и 110 км/ч (л). Разработано авторами

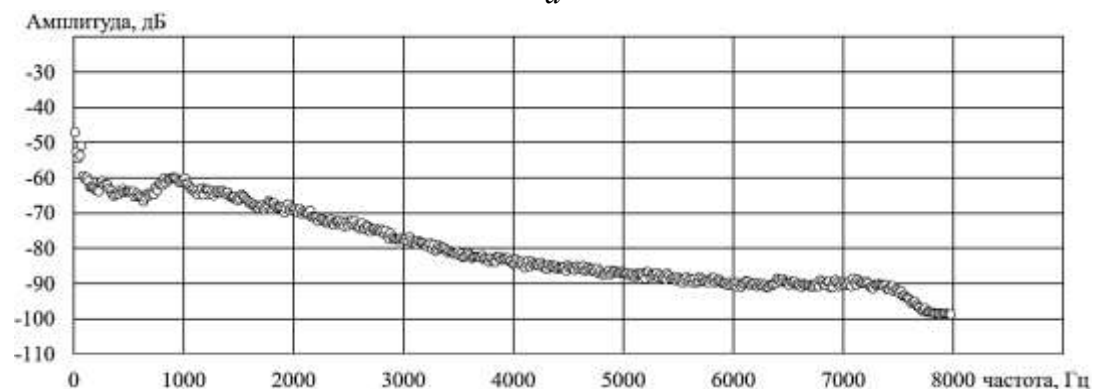
Таблица 1 - Аппроксимация амплитудно-частотной характеристики автомобиля Опель «Антар» при различных скоростях движения

Скорость, км/ч	Аппроксимирующая функция	Показатель R^2 детерминации
10	$A_{10} = -6,718 \ln(f) - 49,421$	0,8921
20	$A_{20} = -8,056 \ln(f) - 36,954$	0,8674
30	$A_{30} = -8,831 \ln(f) - 31,054$	0,8772
40	$A_{40} = -9,898 \ln(f) - 19,514$	0,8493
50	$A_{50} = -10,50 \ln(f) - 11,865$	0,8062
60	$A_{60} = -10,50 \ln(f) - 10,972$	0,8001
70	$A_{70} = -11,21 \ln(f) - 3,027$	0,7795
80	$A_{80} = -10,91 \ln(f) - 4,245$	0,7902
90	$A_{90} = -11,09 \ln(f) - 1,572$	0,7684
100	$A_{100} = -10,84 \ln(f) + 1,261$	0,7584
110	$A_{110} = -10,72 \ln(f) + 1,121$	0,7504

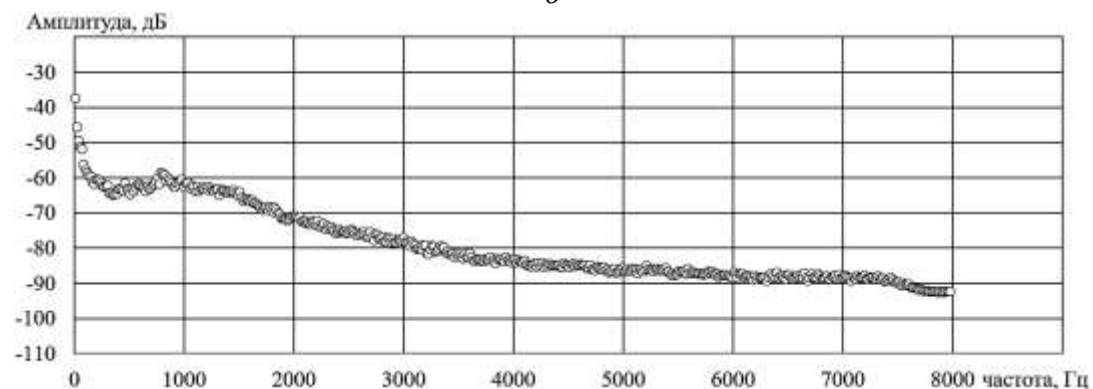
Разработано авторами.



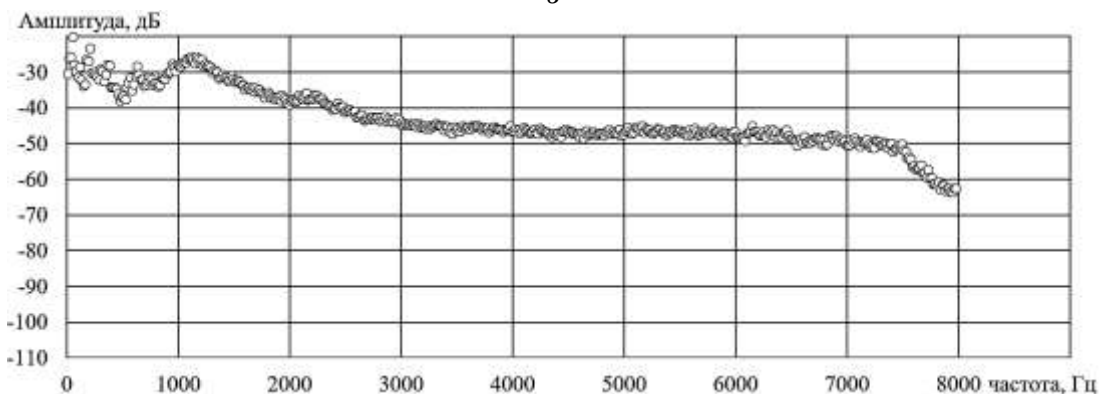
a



б



в



г

Рисунок 4 - Амплитудно-частотная характеристика (а) автомобиля Опель «Антар», движущегося в транспортном потоке со скоростью 40 (а), 60 (б), 80 км/ч (в); автомобиль в транспортном потоке отсутствует (г). Разработано авторами

Методика исследования. Для дальнейшего изучения предмета исследования рассматриваются амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) шума, производимого на дороге

конкретным автомобилем Опель «Антара», в виде функциональной зависимости $A_V(f)$, где f – частота звуковой волны, Гц; A_V – амплитудное значение интенсивности звука на скорости V автомобиля, соответствующая частоте f .

Амплитудно-частотное распределение $A_V(f)$ преобразуется в вектор $\vartheta^V \in R^v$, содержащий значения амплитуд A_V , где R^v – вещественное пространства с размерностью v , равной числу частот, присутствующих в записи АЧХ,

$$A_V(f) \rightarrow \vartheta^V \in R^v.$$

Дополнительно определяется вектор $\Theta^{V_t} \in R^v$, построенный на основе АХЧ звукового сигнала случайного транспортного потока,

$$A_{V_t}(f) \rightarrow \Theta^{V_t} \in R^v,$$

где V_t – скорость изучаемого автомобиля в транспортном потоке.

В линейном векторном пространстве R^v вводится скалярное произведение

$$(u, v) = \sum_{i=1}^v u_i v_i \quad (1)$$

и норма, порожденная скалярным произведением (1),

$$\|u\| = \sqrt{(u, u)} = \sqrt{\sum_{i=1}^v u_i^2}. \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) позволят выделить в общем звуковом сигнале движения транспортного потока наличие искомого автомобиля с помощью математической операции

$$Pr_{\vartheta^V} \Theta^{V_t} = \frac{1}{\|\vartheta^V\|} (\Theta^{V_t}, \vartheta^V) = \frac{1}{\|\vartheta^V\|} \sum_{i=1}^v \Theta_i^{V_t} \vartheta_i^V \quad (3)$$

– скалярное произведение вектора $\Theta^{V_t} \in R^v$, построенного по АХЧ звукового сигнала транспортного потока, на вектор $\vartheta^V \in R^v$, построенный по АХЧ звукового сигнала единичного автомобиля; множитель $\|\vartheta^V\|$ в соотношении (3) вводится для нормирования вектора ϑ^V .

Результаты и обсуждение

В таблице 2 приведены значения нормы $\|\vartheta^V\|$ амплитудно-частотных характеристик $A_V(f)$ автомобиля Опель «Антара», определенные согласно формуле (2), скалярных произведений $Pr_{\vartheta^V} \Theta^{V_t}$, определенные при различных скоростях V движения рассматриваемого автомобиля и скорости V_t того же автомобиля в транспортном потоке в соответствии с выражением (3).

Данные таблицы 2 показывают, что нормы векторов ϑ^V , соответствующих АЧХ интенсивностей звукового давления при движении автомобиля Опель «Антара», находятся в диапазоне $\|\vartheta^V\| \in [1931,5, 2336,2]$, изменение значений достигает 17,3 % от максимального значения.

Таблица 2 - Результаты вычисления нормы $\|\vartheta^V\|$ амплитудно-частотных характеристик $A_V(f)$ автомобиля Опель «Антара» и скалярных произведений $Pr_{\vartheta^V} \Theta^{V_t}$, определенных при различных скоростях V движения одиночного автомобиля и скорости V_t того же автомобиля в транспортном потоке

Скорость автомобиля, км/ч	V$	\|\vartheta^V\|$	Скалярных произведения $Pr_{\vartheta^V} \Theta^{V_t}$ при различных скоростях V_t (км/ч) движения автомобиля в транспортном потоке			
			отсут- ствует	40	60	80
10		2336,2	988,4	1769,5	1816,7	1800,6
20		2298,9	990,1	1770,9	1818,7	1802,2
30		2306,9	990,7	1770,7	1819,5	1803,0
40		2242,2	991,6	1770,9	1820,3	1803,5
50		2180,6	992,0	1770,7	1820,4	1803,2
60		2161,2	992,0	1770,4	1820,1	1802,9
70		2111,3	992,2	1769,6	1820,0	1802,6
80		2084,4	992,1	1769,5	1819,7	1802,4
90		2057,7	992,0	1768,9	1819,2	1801,8
100		1949,4	992,0	1768,2	1818,6	1801,1
110		1931,5	991,9	1767,8	1818,2	1800,7

Разработано авторами.

Значения скалярных произведений при скорости $V_t = 40$ км/ч лежат в диапазоне $Pr_{\vartheta^V} \Theta^{40} \in [1767,8, 1770,9]$, изменение значений не превышает 0,175 %. При скорости $V_t = 60$ км/ч $Pr_{\vartheta^V} \Theta^{60} \in [1816,7, 1820,4]$, диапазон изменения не превышает 0,203 %. При скорости $V_t = 80$ км/ч $Pr_{\vartheta^V} \Theta^{80} \in [1800,6, 1803,5]$, диапазон изменения не превышает 0,16%. При отсутствии изучаемого автомобиля в случайном потоке транспорта $Pr_{\vartheta^V} \Theta^{60} \in [988,4, 992,2]$, диапазон изменения не превышает 0,382%.

Столь малый разброс значений результатов скалярных произведений вектора $\vartheta^V \in R^V$ и вектора $\Theta^{V_t} \in R^V$ можно объяснить малым различием АЧХ интенсивностей звукового давления при движении автомобиля Опель «Антара» со скоростями $V = 10, \dots, 110$ км/ч (рис. 3).

Результаты, приведенные в таблице 2, свидетельствуют, что значения скалярных произведений векторов $\Theta^{V_t} \in R^V$ на векторы $\vartheta^V \in R^V$ при наличии автомобиля Опель «Антара» в 1,8 раза превышают значения скалярных произведений тех же векторов при его отсутствии в случайном транспортном потоке. Это позволяет утверждать, что выдвинутая авторами гипотеза о возможности обнаружения присутствия искомого автомобиля в случайном потоке транспортных средств, основанная на использовании амплитудно-частотных характеристик интенсивностей звукового давления от движущегося автомобиля, имеет право на существование.

Выводы

Проблема контроля уровня шума от транспортных потоков и идентификация транспортных средств, оказывающих наибольший вклад в транспортный шум, является актуальной и требует дальнейшего изучения. Выполнен анализ публикаций как российских, так и зарубежных исследователей, посвященных контролю шума от транспортных средств в процессе эксплуатации, его влиянию на здоровье человека и проблемах при идентификации транспортных средств. Рассмотрен метод аудио-идентификации транспортного средства в случайном транспортном потоке на основе записи звука при его движении с выделением методом быстрого преобразования Фурье амплитудно-частотных характеристик интенсивности звукового давления. Необходимы дальнейшие исследования рассмотренной проблемы, проведение экспериментальных исследований и разработка способов регистрации звуковых сигналов с применением специализированной аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.Б. Ушаков [и др.]. Воздействие городского автотранспортного шума с оценкой риска здоровью населения // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96(9). С. 904-908. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-904-909>.
2. Abbott P.G., Morgan P.A., McKell B. A review of current research on road surface noise reduction techniques [Электронный ресурс]. 2023. 466 p. URL: <https://www.trl.co.uk/uploads/trl/documents/PPR443.pdf>.
3. Farah Khaliz Kedri [et al.]. Assessment of traffic noise pollution at residential and school areas in Jeli, Kelantan [Электронный ресурс] / BIO Web of Conferences. 2023. Vol. 73, № 05024. P. 1-7. URL: https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/pdf/2023/18/bioconf_ctress2023_05024.pdf.
4. B.S. Chauhan [et al.]. Comparison of Analytical and Machine Learning Models in Traffic: Noise Modeling and Predictions // MAPAN-Journal of Metrology Society of India. 2024. Vol. 39(2). P. 397-415. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12647-023-00692-4>.
5. Das S., Kalidoss V., Bakshi S. Noise levels at traffic intersections and awareness of noise pollution among traffic policemen and automobile drivers [Электронный ресурс] / Int. J. Occup. Safety Health. 2023. Vol. 13. № 3. P. 353-360. URL: <https://www.nepjol.info/index.php/IJOSH/article/view/51829/42120>.
6. De Coensel B., Botteldooren D. Microsimulation Based Corrections on the Road Traffic Noise Emission Near Intersections [Электронный ресурс] / ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA. 2007. Vol. 93. P. 241-252. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/55792237.pdf>.
7. Deryabin I. Noise Reduction Method in Vehicle Interior [Электронный ресурс] / Transportation Research. 2023. Vol. 68. P. 642-646. URL: https://www.researchgate.net/publication/368553174_Noise_Reduction_Met.
8. Deryabin I. On the issue of reducing the sound level emitted by the intake system of an internal combustion engine [Электронный ресурс] / Journal of Physics Conference Series. 2020. Vol. 1679(5). P. 052026. URL: https://www.researchgate.net/publication/347186263_On_the_issue_of_reducing_the_sound_level_emitted_by_the_int.
9. Desarnaulds V., Monay G., Carvalho A. Noise Reduction by Urban Traffic Management [Электронный ресурс] / 2004. P. 3257-3260. URL: <https://pages.up.pt/~up209614/ica04.pdf>.
10. M. Borowska-Stefańska [et al.]. Effects of speed limits introduced to curb road noise on the performance of the urban transport system [Электронный ресурс] / Journal of Transport & Health. 2023. Vol. 30(9). №101592. P. 1-16. URL: https://www.researchgate.net/publication/369269604_Effects_of_speed_limits_introduced_to_curb_road.
11. Elkafoury A., Elboshy B., Darwish A.M. Development of response surface method prediction model for traffic-related roadside noise levels based on traffic characteristics // Environmental Science and Pollution Research. 2023. Vol. 30. P. 94229-94241. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28934-7>.
12. A. Barros [et al.]. Exploring psychoacoustic indicators of tyre/road noise in urban environments [Элек-

- тронный ресурс] / Turin, Italy. 2023. P. 2087-2091.. URL: <https://dael.euracoustics.org/confs/fa2023/data/articles/000>.
13. Hałucha M., Bohatkiewicz J., Mioduszewski P. Modeling the effect of electric vehicles on noise levels in the vicinity of rural road sections [Электронный ресурс] / ARCHIVES OF CIVIL ENGINEERING. 2023. Vol. LXIX. P. 573. DOI: 10.24425/ace.2023.146098.
 14. M. Sørensen [et al.]. Health position paper and redox perspectives - Disease burden by transportation noise [Электронный ресурс] / Redox Biology. 2023. №102995. URL: https://www.researchgate.net/publication/376618626_Health_position_paper_and_redox_perspectives_-_Disease_bu.
 15. A.K. Chouksey [et al.]. Heterogeneous road traffic noise modeling at mid-block sections of mid-sized city in India / Environ Monit Assess. 2023. Vol. 195. 1349 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11924-0>.
 16. Itaa C.M., Ugwoha E., Yorkor B. Evaluation of Daily Vehicular Traffic Flows and Noise Levels at Major Junctions in Port Harcourt Metropolis, Nigeria // Journal of Scientific Research and Reports. 2023. Vol. 29. P. 71-84. DOI: 10.9734/jsrr/2023/v29i101799.
 17. Kotzen B. Environmental noise barriers : a guide to their acoustic and visual design [Электронный ресурс]. 2009. London, New York. 294 p. URL: <https://archive.org/details/environmentalnoi0000kotz>.
 18. Lakawa I., Huijianto H., Haryono H. A study of heterogeneous traffic noise trigger parameters for urban areas // Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology. 2023. Vol. 13. P. 79-87. DOI: <https://doi.org/10.47577/technium.v13i.9572>.
 19. I. Deryabin [et al.]. On Reducing the Noise of the Internal Combustion Engine of a Motor Vehicle [Электронный ресурс] / Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 61. P. 505-509. URL: https://www.researchgate.net/publication/363130735_On_Reducing_the_Noise_of_the_Internal_Combustion_Engine.
 20. Shvetsov A. Aspects of traffic noise reduction [Электронный ресурс] / Journal Akustika. 2025. Vol. 39(39). URL: <https://doi.org/10.36336/00yb9s64>.
 21. Sippel I., Magdin K., Evtukov S. Noise pollution of the road network of the city by road transport [Электронный ресурс] / APEC-VI. E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 411. №02038. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341102038>.
 22. Sippel I., Magdin K., Evtukov S. Study of traffic noise exposure on street and road networks in a megapolis [Электронный ресурс] / E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 431. №08005. P. 1-7. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343108005>.
 23. Svensson T. Konsekvenser av traffic calming - Kunskapsöversikt och forskningsbehov [Электронный ресурс] / Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University. 2002. Vol. 9(1). URL: <https://doi.org/10.5278/ojs.td.v9i1.4587>.
 24. D. Chandra [et al.]. The Effect of Traffic Characteristics on Noise Level in Padang City [Electronic resource] / Journal of Physics: Conference Series. 2023. Vol. 2582. P. 1-11. URL: https://www.researchgate.net/publication/374461266_The_Effect_of_Traffic_Characteristics_on_Noise_Level_in_Pad.
 25. A. Totouom [et al.]. Residential traffic noise exposure and health in Cameroon [Electronic resource] / Journal of Environmental Economics and Policy. 2023. Vol. 13(2). P. 259-273. URL: <https://doi.org/10.1080/21606544.2023.2241408>.

Алексей Михайлович Шелудяков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Адрес: 614990, Россия, Пермь, Комсомольский пр., 29
К.т.н., доцент, директор Института дорожного строительства и транспорта
E-mail: sam@pstu.ru

Михаил Геннадьевич Бояршинов

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

A.M. SHCHELUDYAKOV, M.G. BOYARSHINOV

AUDIO IDENTIFICATION OF THE VEHICLE

Abstract. *This paper presents an approach to audio identification of cars in traffic based on an analysis of the amplitude-frequency characteristics obtained using the Fast Fourier Transform of temporary noise level signals recorded on a public road.*

Keywords: *vehicle, traffic flow, noise level, noise level assessment*

BIBLIOGRAPHY

1. I.B. Ushakov [i dr.]. Vozdeystvie gorodskogo avtotransportnogo shuma s otsenkoy riska zdorov`yu nasele-niya // Gigiena i sanitariya. 2017. T. 96(9). S. 904-908. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-904-909>.
2. Abbott P.G., Morgan P.A., McKell B. A review of current research on road surface noise reduction techniques [Elektronnyy resurs]. 2023. 466 r. URL: <https://www.trl.co.uk/uploads/trl/documents/PPR443.pdf>.
3. Farah Khaliz Kedri [et al.]. Assessment of traffic noise pollution at residential and school areas in Jeli, Kelantan [Elektronnyy resurs] / BIO Web of Conferences. 2023. Vol. 73, № 05024. R. 1-7. URL: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2023/18/bioconf_ctress2023_05024.pdf.

4. B.S. Chauhan [et al.]. Comparison of Analytical and Machine Learning Models in Traffic: Noise Modeling and Predictions // MAPAN-Journal of Metrology Society of India. 2024. Vol. 39(2). R. 397-415. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12647-023-00692-4>.
5. Das S., Kalidoss V., Bakshi S. Noise levels at traffic intersections and awareness of noise pollution among traffic policemen and automobile drivers [Elektronnyy resurs] / Int. J. Occup. Safety Health. 2023. Vol. 13. № 3. R. 353-360. URL: <https://www.nepjol.info/index.php/IJOSH/article/view/51829/42120>.
6. De Coensel B., Botteldooren D. Microsimulation Based Corrections on the Road Traffic Noise Emission Near Intersections [Elektronnyy resurs] / ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA. 2007. Vol. 93. R. 241-252. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/55792237.pdf>.
7. Deryabin I. Noise Reduction Method in Vehicle Interior [Elektronnyy resurs] / Transportation Research. 2023. Vol. 68. R. 642-646. URL: https://www.researchgate.net/publication/368553174_Noise_Reduction_Met.
8. Deryabin I. On the issue of reducing the sound level emitted by the intake system of an internal combustion engine [Elektronnyy resurs] / Journal of Physics Conference Series. 2020. Vol. 1679(5). R. 052026. URL: https://www.researchgate.net/publication/347186263_On_the_issue_of_reducing_the_sound_level_emitted_y_the_int.
9. Desarnaulds V., Monay G., Carvalho A. Noise Reduction by Urban Traffic Management [Elektronnyy resurs] / 2004. R. 3257-3260. URL: <https://pages.up.pt/~up209614/ica04.pdf>.
10. M. Borowska-Stefańska [et al.]. Effects of speed limits introduced to curb road noise on the performance of the urban transport system [Elektronnyy resurs] / Journal of Transport & Health. 2023. Vol. 30(9). №101592. R. 1-16. URL: https://www.researchgate.net/publication/369269604_Effects_of_speed_limits_introduced_to_curb_road.
11. Elkafoury A., Elboshy B., Darwish A.M. Development of response surface method prediction model for traffic-related roadside noise levels based on traffic characteristics // Environmental Science and Pollution Research. 2023. Vol. 30. R. 94229-94241. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28934-7>.
12. A. Barros [et al.]. Exploring psychoacoustic indicators of tyre/road noise in urban environments [Elektronnyy resurs] / Turin, Italy. 2023. R. 2087-2091. URL: <https://dael.euracoustics.org/confs/fa2023/data/articles/000>.
13. Hałucha M., Bohatkiewicz J., Mioduszewski P. Modeling the effect of electric vehicles on noise levels in the vicinity of rural road sections [Elektronnyy resurs] / ARCHIVES OF CIVIL ENGINEERING. 2023. Vol. LXIX. R. 573. DOI: 10.24425/ace.2023.146098.
14. M. Sørensen [et al.]. Health position paper and redox perspectives - Disease burden by transportation noise [Elektronnyy resurs] / Redox Biology. 2023. №102995. URL: https://www.researchgate.net/publication/376618626_Health_position_paper_and_redox_perspectives_-_Disease_bu.
15. A.K. Chouksey [et al.]. Heterogeneous road traffic noise modeling at mid-block sections of mid-sized city in India / Environ Monit Assess. 2023. Vol. 195. 1349 r. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11924-0>.
16. Itaa C.M., Ugwoha E., Yorkor B. Evaluation of Daily Vehicular Traffic Flows and Noise Levels at Major Junctions in Port Harcourt Metropolis, Nigeria // Journal of Scientific Research and Reports. 2023. Vol. 29. P. 71-84. DOI: 10.9734/jsrr/2023/v29i101799.
17. Kotzen B. Environmental noise barriers : a guide to their acoustic and visual design [Elektronnyy resurs]. 2009. London, New York. 294 p. URL: <https://archive.org/details/environmentalnoi0000kotz>.
18. Lakawa I., Hujianto H., Haryono H. A study of heterogeneous traffic noise trigger parameters for urban areas // Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology. 2023. Vol. 13. R. 79-87. DOI: <https://doi.org/10.47577/technium.v13i.9572>.
19. I. Deryabin [et al.]. On Reducing the Noise of the Internal Combustion Engine of a Motor Vehicle [Elektronnyy resurs] / Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 61. R. 505-509. URL: https://www.researchgate.net/publication/363130735_On_Reducing_the_Noise_of_the_Internal_Combustion_Engine.
20. Shvetsov A. Aspects of traffic noise reduction [Elektronnyy resurs] / Journal Akustika. 2025. Vol. 39(39). URL: <https://doi.org/10.36336/00yb9s64>.
21. Sippel I., Magdin K., Evtyukov S. Noise pollution of the road network of the city by road transport [Elektronnyy resurs] / APEC-VI. E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 411. №02038. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341102038>.
22. Sippel I., Magdin K., Evtyukov S. Study of traffic noise exposure on street and road networks in a megapolis [Elektronnyy resurs] / E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 431. №08005. R. 1-7. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343108005>.
23. Svensson T. Konsekvenser av traffic calming - Kunskapsöversikt och forskningsbehov [Elektronnyy resurs] / Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University. 2002. Vol. 9(1). URL: <https://doi.org/10.5278/ojs.td.v9i1.4587>.
24. D. Chandra [et al.]. The Effect of Traffic Characteristics on Noise Level in Padang City [Electronic resource] / Journal of Physics: Conference Series. 2023. Vol. 2582. R. 1-11. URL: https://www.researchgate.net/publication/374461266_The_Effect_of_Traffic_Characteristics_on_Noise_Level_in_Pad.
25. A. Totouom [et al.]. Residential traffic noise exposure and health in Cameroon [Electronic resource] / Journal of Environmental Economics and Policy. 2023. Vol. 13(2). R. 259-273. URL: <https://doi.org/10.1080/21606544.2023.2241408>.

Alexey Mikhailovich Shcheludyakov
Perm National Research Polytechnic University
Address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky Ave., 29
Candidate of Technical Sciences
E-mail: sam@pstu.ru

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

УДК 656.11

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-55-64

М. ХАНЬ, И.В. ТОПИЛИН, В.В. ЗЫРЯНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕГРУЖЕННЫХ УЧАСТКАХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Аннотация. В статье приведены результаты исследований, основанные на реальных данных транспортного потока. Анализируются характеристики потока на магистральных, второстепенных и вспомогательных дорогах в условиях заторов. Выявлены пространственно-временные особенности заторов на дорогах различного функционального назначения. Математическая обработка первичных данных с устранением аномальных значений и пополнением пропущенных данных позволила получить достоверные результаты. Установлены значительные различия в характеристиках заторов и точности модели между дорогами разных классов, при этом на второстепенных и вспомогательных дорогах наблюдается лучшее соответствие модели реальным данным. Работа впервые объединяет анализ заторов с иерархией дорог, представляя теоретическую основу для их оценки и идентификации.

Ключевые слова: транспортные заторы, характеристики транспортных потоков, пропускная способность

Введение

В последние годы, с ускорением процесса урбанизации, транспортные сети городов становятся все более сложными, и проблема транспортных заторов становится все более острой. Одним из эффективных способов решения проблемы усугубляющихся заторов в транспортной системе является углубленное изучение существующих транспортных моделей и характеристик, чтобы понять их закономерности развития, что заложит основу для улучшения дорожной ситуации [1]. Скорость, плотность и интенсивность являются тремя основными параметрами, описывающими характеристики транспортных потоков, и их соотношение называется основным графиком транспортного потока. Скорость и плотность могут отражать состояние движения транспортных средств на дороге, в то время как интенсивность используется для описания транспортного спроса на дороге.

Линейная модель соотношения скорости и плотности, предложенная Б. Гриншилдом [2] в 1935 году, заложила основу для моделирования транспортных потоков. В последующем учеными были предложены модели на основе логарифмические модели [3], экспоненциальные модели [4], разрывные модели [5], степенные модели [6], что углубило понимание закономерностей изменения характеристик транспортных потоков. Zhang и др. [7] предложили метод кластеризации, учитывающий влияние весовых коэффициентов интенсивности, скорости и загруженности, что повысило точность идентификации состояния трафика и улучшило анализ характеристик потока. Cheng и др. [8] разработали S-образную модель транспортного потока, применимую при любой плотности движения с S-образной формой, содержащую только три параметра (S3). Китайские ученые также провели множество эмпирических исследований по городским дорогам. Чжан Хуэй и др. [9] предложили методы оценки параметров для пяти классических моделей транспортных потоков на основе методов машинного обучения. Цзян Хайян и В.В. Зырянов [10] ввели параметр «эффективность поездки», разработав модель тенденции накопления транспортных средств, предложив макро моделирование для анализа характеристик транспортных заторов в городской дорожной сети. Ян Сяолу и др. [11] применили метод нечеткой кластеризации C-средних для классификации состояния транспортных потоков, проанализировав временные и пространственные характеристики основных параметров транспортного потока. Однако в текущих исследованиях в основном уделяется внимание скоростным или магистральным участкам, тогда как исследования характеристик транспортных потоков для дорог различных уровней и перегруженных участков изучены недостаточно.

Основной вклад данной работы включает в себя следующее: объединение реальных данных и методов тепловых карт для систематического выявления пространственно-временных распределений заторов на дорогах различных уровней; применение макромоделей для аппроксимации характеристик транспортных потоков на перегруженных участках дорог и оценка различий для дорог различного функционального назначения; использование методов повторной выборки данных для повышения стабильности модели, что обеспечит теоретическую основу для идентификации и управления заторами в сложной городской дорожной сети.

Материал и методы

Источник данных

В данной работе в качестве объекта исследования выбраны три типичных дороги в одном из городов Китая (магистраль, второстепенная дорога и вспомогательная дорога). Данные были получены с помощью стационарных датчиков, установленных в направлении с востока на запад. Время сбора данных составило с 17 июня 2021 года (четверг) по 20 июня 2021 года (воскресенье), интервал сбора данных - 5 минут, собираемые параметры включают скорость движения и интенсивность транспортного потока. Схема расположения дорог представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Исследуемые дороги и перегруженные участки

Предварительная обработка данных

Для обеспечения точности анализа и достоверности аппроксимации модели в данном исследовании была проведена систематическая предварительная обработка исходных данных о движении, которая включает в себя выявление и исключение аномальных значений, восполнение пропущенных данных с помощью интерполяции, проверку нормальности распределения и повторную выборку данных.

1. Очистка и заполнение данных

Поскольку данные о движении поступают от нескольких датчиков (радаров и индукционных детекторов), часть данных может содержать измерительные ошибки или отсутствовать. С применением теории транспортных потоков и статистического анализа проводилась идентификация аномалий на данных о скорости и интенсивности [12]. Если интенсивность в определенный временной промежуток равна 0, а скорость не равна 0, или скорость превышает максимально допустимое значение для данного уровня дороги, тогда такие данные рассматриваются как аномальные. После их удаления для исследования выбраны наиболее репрезентативные данные об интенсивности и скорости движения от 18 июня 2021 года (пятница).

Рисунок 2 иллюстрирует сравнительный график тренда скорости на дороге за четыре дня, из чего видно, что транспортный поток имеет выраженные циклические характеристики в рабочие и нерабочие дни, поэтому для восстановления пропущенных данных о транспорт-

ном потоке в данном исследовании использованы данные за 17 июня 2021 года (четверг) с применением метода заполнения на основе аналогичных исторических данных о рабочем дне. Если в каком-либо временном промежутке имеются пропуски, то выбрано время, соответствующее этому периоду 17 числа, которое обладает аналогичными периодическими характеристиками.

Данный метод, основанный на суточных закономерностях транспортных потоков и различиях в рутинной деятельности в рабочие и нерабочие дни, позволяет эффективно сохранить временные характеристики потоков и избежать введения резких изменений или атипичных значений, что способствует более точному отражению истинной эволюции транспортного потока и структурной модели.



Рисунок 2 - Характеристики распределения скорости

2. Проверка нормальности распределения и повторная выборка данных

Перед аппроксимацией параметров модели проводилась проверка нормальности данных о скорости, плотности и интенсивности для дорог различного класса с помощью критерия Колмогорова-Смирнова (KS) [13], чтобы определить, соответствуют ли данные предположениям о линейной регрессионной модели. Если в результате испытания $P \geq 0.05$, то нулевая гипотеза (данные выборки соответствуют нормальному распределению) принимается. Если $P < 0.05$, то нулевая гипотеза отвергается (данные выборки не соответствуют нормальному распределению).

Для данных, не прошедших проверку нормальности, применялся метод повторной выборки [14]. Выявляются и удаляются дублируемые значениями скорости, плотности или интенсивности; сохраняется только одно значение. Если все три параметра (скорость, плотность, интенсивность) совпадают, также сохраняется одна запись. Этот подход обеспечивает соблюдение предпосылок линейного регрессионного анализа и повышает достоверность конечных результатов моделирования.

3. Разбиение данных

Поскольку данные о плотности транспортного потока используются для аппроксимации кривой скорости-плотности, они по своей сути представляют собой точечные комбинации переменных состояния трафика (пары значений скорость-плотность) и не являются строгой временной последовательностью. Поэтому в данном исследовании используем метод случайного разделения с равномерным распределением, при котором сохраняется пропорция различных состояний потока в полном наборе данных, разделяя набор данных на 80% для обучения и 20% для тестирования. Этот метод обеспечивает согласованность распределения в пространстве характеристик между обучающим и тестовым набором, что позволяет избежать переобучения модели на конкретные состояния потока и повышает её способность к обобщению.

Анализ характеристик транспортного потока

Транспортные заторы определяют функционирование сети в целом, и идентификация их пространственного распределения и механизма формирования может повысить общую пропускную способность [15]. Характеристики транспортных потоков в макро- и мезоуровнях зависят не только от состояния движения в конкретный момент времени на конкретной

точке, но также от состояний движения на соседних участках на данном и смежных временных интервалах. То есть транспортный поток представляет собой динамический процесс, который меняется во времени и пространстве. Именно из-за динамической природы транспортного потока, при наличии достаточного количества детекторов, наблюдение за изменениями транспортного потока на различных участках со временем может определить местоположение транспортных заторов и позволит провести их дальнейшее исследование и анализ.

Для анализа закономерностей изменения скорости на дорогах различных уровней, а также для дальнейшего изучения характеристик потоков в условиях затора была построена тепловая карта скорости (Рисунок 3). Она показывает данные о скорости, зарегистрированные на различных детекторах для дорог различных классов, визуализируя пространственное местоположение, продолжительность и тенденции изменений перегруженных участков.

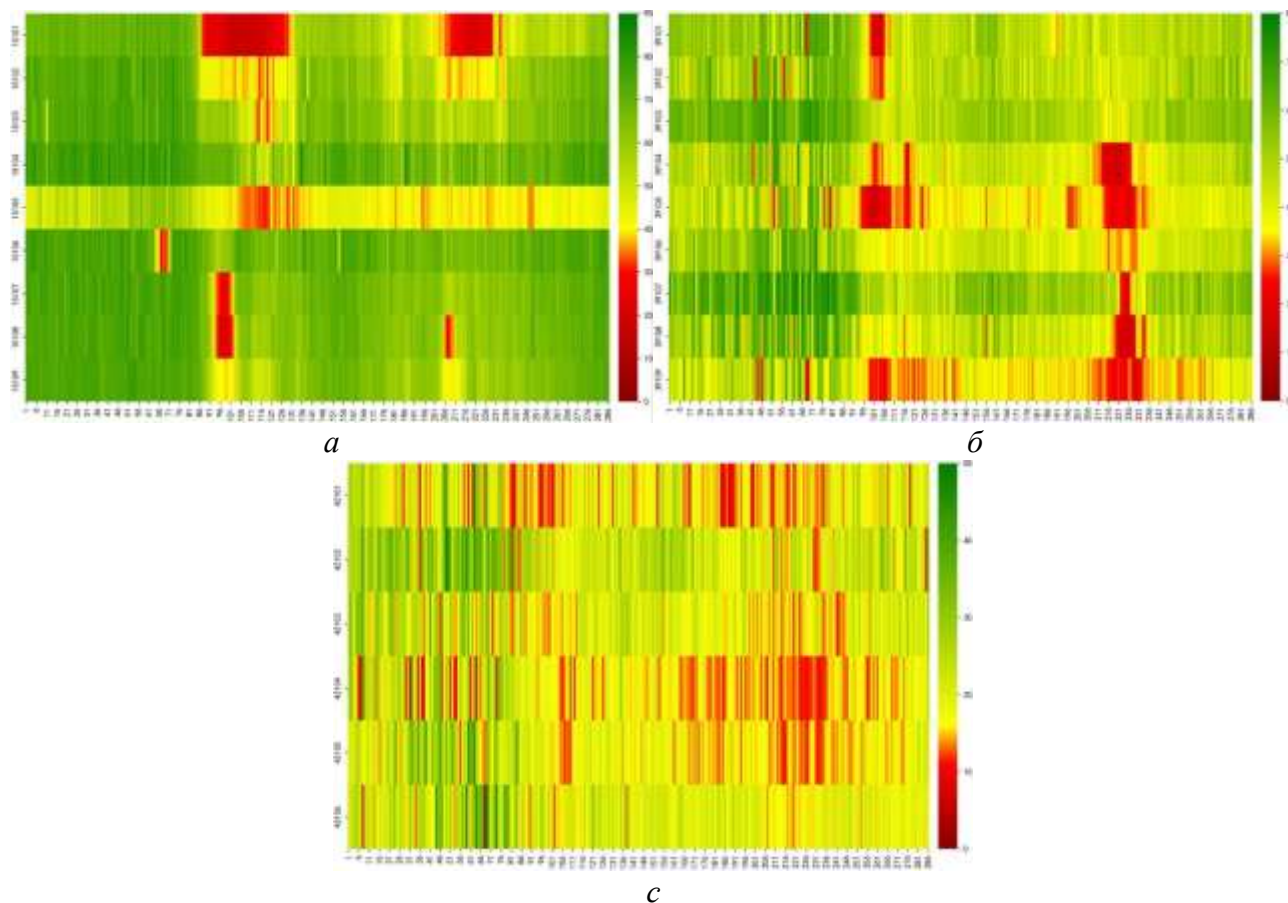


Рисунок 3 - Тепловая карта перегруженных участков:
а - Магистральная дорога; б - Второстепенная дорога; с - Вспомогательная дорога

Как видно из рисунка, анализ скоростных данных позволил выявить: локализацию (местоположение) заторов, продолжительности перегрузки, динамику изменения во времени. На всех трех классах дорог наблюдаются множественные заторы. Заторы показывают пространственную кластеризацию (концентрацию на определенных участках) и временную корреляцию (синхронное возникновение). В данной работе исследуются характеристики потоков на перегруженных участках, выбирая данные трех детекторов, где заторы наиболее выражены, для анализа характеристик потоков и аппроксимации параметров.

Теория / Расчет

Выбор модели транспортного потока

Линейная модель Б.Гриншилдса, предполагающая линейную зависимость между скоростью и плотностью, отличается математической простотой и удобством оценки параметров. Благодаря своей интерпретируемости и практической применимости, она широко ис-

пользуется в транспортных исследованиях. В данном исследовании модель Б.Гриншилдса выбрана для анализа участков без светофорного регулирования, так как она эффективно отражает взаимосвязь между параметрами потока в таких условиях. Формула модели Б.Гриншилдса выглядит следующим образом:

$$v = v_f - (v_f / k_j) \cdot k, \quad (1)$$

где v_f - скорость свободного потока, скорость автомобилей, когда плотность потоков стремится к нулю;

k_j - плотность затора, плотность при полной неподвижности транспортных средств.

Модель Б.Гриншилдса удовлетворяет предположениям линейной тенденции в классических ситуациях, когда данные не подвержены влиянию светофоров и заторов. Применяется метод наименьших квадратов для одной линейной регрессии модели Б.Гриншилдса для определения ключевых параметров модели. Линейная эквивалентная модель выглядит следующим образом:

$$v = a - b \cdot k, \quad (2)$$

где $a = v_f, b = v_f / k_j$.

Связь между интенсивностью, скоростью и плотностью транспортного потока описывается следующим уравнением:

$$q = k \cdot v. \quad (3)$$

Подставляя уравнение (1) в уравнение (3), получаем:

$$q = k \cdot v = v_f (k - k^2 / k_j). \quad (4)$$

Пусть $dx/dk = 0$, При $v = 0,5 v_f$ и $k = 0,5 k_j$ уравнение (4) имеет максимальное значение $q_{max} = 0,25 v_f k_j$. Этот объем потока называется пропускной способностью участка дороги, то есть $C = 0,25 v_f k_j$.

Оценка ошибок

Чтобы оценить соответствие модели Б. Гриншилдса реальным данным в статистическом плане, в данном эксперименте используются следующие статистические показатели [16]:

1. Коэффициент детерминации R^2

Коэффициент детерминации (R^2) - это показатель, используемый для оценки качества аппроксимации регрессионной модели. Его значение находится в пределах от 0 до 1, и чем ближе R^2 к 1, тем лучше качество аппроксимации. Формула:

$$R^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (5)$$

где y_i, \hat{y}_i - фактические наблюдаемые и прогнозируемые значения модели;

\bar{y} - среднее значение наблюдений.

2. Средняя абсолютная ошибка MAE

Средняя абсолютная ошибка (MAE) вычисляет среднюю абсолютную разницу между предсказанными и реальными значениями, отражая общий уровень ошибок модели:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|. \quad (6)$$

Меньшее значение MAE свидетельствует о том, что предсказанные значения модели ближе к реальным значениям, и соответственно, модель имеет более высокие предсказательные способности.

3. Корень среднеквадратичной ошибки RMSE

Корень среднеквадратичной ошибки (RMSE) измеряет среднеквадратичную ошибку между предсказанными и реальными значениями, и меньшее значение указывает на более высокую точность предсказания:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} . \quad (7)$$

Используя эти статистические показатели, можно получить комплексное представление о качестве аппроксимации модели Б.Гриншилдса в условиях различных уровней дорог и потоков. Значение R^2 указывает на способность модели объяснять изменения данных, в то время как MAE и RMSE измеряют прогнозные ошибки с разных позиций. Совместное использование этих показателей предоставит научное обоснование для анализа и интерпретации модели, что поможет повысить надежность и точность анализа транспортных потоков на практике.

Результаты

Для повышения точности и стабильности статистической оценки модели, в данной работе перед сглаживанием транспортного потока выполняется предварительная обработка первичных данных. Таблица 1 представляет результаты проверки нормальности для потоков, плотности и скорости на перегруженных участках для дорог различного уровня в исходном состоянии и после повторной выборки Колмогорова-Смирнова тестов.

Таблица 1 - Сравнение проверки нормальности

	Магистральная дорога		Второстепенная дорога		Вспомогательная дорога	
	Исходные	Повторенные	Исходные	Повторенные	Исходные	Повторенные
Flow	0,012	0,451	0,001	0,032	0,000	0,235
Density	0,024	0,098	0,021	0,219	0,039	0,064
Speed	0,000	0,025	0,035	0,221	0,002	0,003

Из таблицы видно, что необработанные исходные данные в большинстве тестов Колмогорова-Смирнова имеют Р-значение ниже 0,05, что свидетельствует об отклонении от нормального распределения, особенно в показателях интенсивности и скорости, где наблюдается высокая изменчивость и значительное влияние шума. Однако после процедуры повторной выборки большинство показателей показали значительное повышение Р-значений, особенно для интенсивности и плотности для магистральных и второстепенных дорог, что подтверждает эффективность обработки по повторной выборке для смягчения проблемы смещения распределения и обеспечивает более стабильную и надежную основу для точной аппроксимации модели.

На основе вышеизложенного для магистральных, второстепенных и вспомогательных дорог была проведена аппроксимация данных с использованием модели Б.Гриншилдса с целью извлечения ключевых параметров транспортного потока и выявления связи между классом дороги и характеристиками транспортных потоков на перегруженных участках. Рисунок 4 демонстрирует графики разброса скорости-плотности для дорог третьего класса и аппроксимации кривых модели Б.Гриншилдса. Результаты представлены в таблице 2

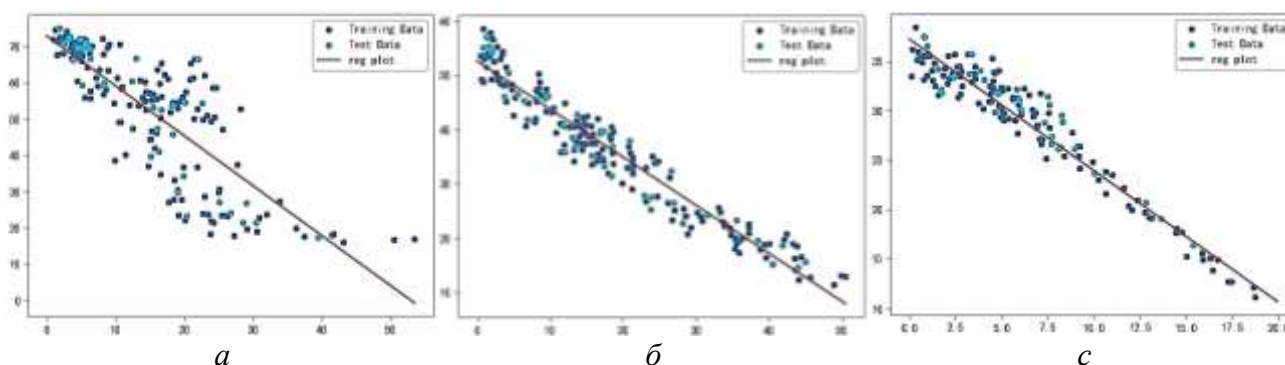


Рисунок 4 - График аппроксимации модели Б.Гриншилдса:

а - Магистральная дорога; б - Второстепенная дорога; с - Вспомогательная дорога

Таблица 2 - Результаты аппроксимации модели Б. Гриншилдса

	V_f	b	k_j	C
Магистральная дорога	72,87	1,38	52,92	964
Второстепенная дорога	54,41	1,29	41,88	572
Вспомогательная дорога	37,25	1,33	27,98	261

Сопоставив рисунки 3 и 4, можно заметить, что для магистрали, обладающей высокой пропускной способностью и низкой степенью заторов, амплитуда изменения скорости достаточно велика, а распределение точек довольно разрозненное; по мере снижения класса дороги разброс значений уменьшается, что свидетельствует о более стабильном состоянии движения, но тенденции к заторам более выражены, а колебания скорости уменьшаются. Кривые аппроксимации модели Б.Гриншилдса на дорогах нижнего уровня более крутые, что означает, что в условиях низкой скорости легче достичь состояния насыщенности, и эффект затора становится более очевидным.

Результаты аппроксимации в таблице 2 показывают, что скорость свободного потока для магистральной дороги достигает 72,87 км/ч, для второстепенной дороги — 54,41 км/ч (значительно ниже), а для вспомогательной дороги — лишь 37,25 км/ч, что указывает на то, что с увеличением уровня дороги скорость свободного потока возрастает. Для дальнейшего анализа характеристик транспортного потока на перегруженных участках дорог в данной работе сравниваются результаты аппроксимации измеренных данных с показателями проектирования дорог, указанными в «Стандартах проектирования дорог Китая» [17] (табл. 3).

Таблица 3 - Проектные стандарты для дорог в Китае

	V_f	C
Магистральная дорога	80	1000
Второстепенная дорога	60	800
Вспомогательная дорога	40	500

Сравнение выявляет, что фактические скорости свободного потока на трех дорожных уровнях в целом ниже проектных стандартов: фактические скорости свободного потока для магистрали, второстепенной дороги и вспомогательной дороги ниже стандартов на 7,13 км/ч, 5,38 км/ч и 2,75 км/ч соответственно. Кроме того, по пропускной способности, пропускная способность вспомогательной дороги составляет лишь половину стандартных значений, что отображает более высокую уязвимость к заторам на дорогах низкого уровня.

Наконец, чтобы оценить точность аппроксимации модели Б.Гриншилдса для перегруженных участков дорог различного уровня, результаты аппроксимации каждой категории дорог были оценены по показателям ошибок, результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Показатели аппроксимации моделей для трех перегруженных участков

	R^2	MAE	RMSE
Магистральная дорога	0,74	7,24	9,15
Второстепенная дорога	0,91	2,84	3,37
Вспомогательная дорога	0,93	1,44	1,84

Результаты показывают, что модель имеет наилучшее качество аппроксимации для вспомогательной дороги, с коэффициентом детерминации R^2 , достигшим 0,93, а показатели наших ошибок MAE и RMSE — наименьшие, что свидетельствует о хорошей стабильности и предсказательной способности модели на перегруженных участках вспомогательных дорог. Однако для магистрали колебания состояния транспортного потока более выражены, что приводит к несколько худшим результатам аппроксимации по сравнению с другими дорожными уровнями, хотя в целом модель сохраняет значительную объяснительную силу.

Обсуждение

Из результатов аппроксимации модели и извлеченных параметров транспортного потока видно, что дороги различных классов в городе демонстрируют значительные различия в формировании заторов и характеристиках работы движения. Кривая скорости-плотности модели Б.Гриншилдса разъясняет количественные соотношения между степенью заторов и

пропускной способностью дороги, особенно для дорог низкого уровня, где влияние заторов на движение становится более очевидным.

Состояние движения на второстепенных и вспомогательных дорогах более стабильно, а качество аппроксимации модели (R^2) выше, указывая на то, что под давлением заторов на менее загруженных дорогах, функции скорости и плотности более соответствуют монотонно убывающим закономерностям, что полезно для моделирования и прогноза.

Кроме того, сравнивая извлеченные ключевые параметры транспорта с проектными стандартами, отмечено, что фактические условия работы, по существу, отклоняются от проектных уровней, особенно на вспомогательных дорогах, пропускная способность которых не доходит до половины стандартных значений. Этот результат указывает на наличие типичных заторов в центральных зонах городов, что связано с состоянием проектирования дорог.

Выводы

В результате данной работы на основе фактических данных на дорогах одного из городов Китая представлен анализ характеристик транспортных потоков на перегруженных участках дорог различного функционального назначения. Применена модель Б.Гриншилдса для описания зависимости скорость-плотность и получены ключевые транспортные параметры для выявления заторов. Исследование показало, что класс дороги оказывает важное влияние на формирование и эволюцию заторов. Магистраль имеет высокую скорость свободного потока и пропускную способность; однако при высоком уровне загрузки условия движения могут быстро изменяться и, следовательно, заторы могут возникать при небольших возмущениях. В отличие от этого, второстепенные и вспомогательные дороги быстрее достигают предела своей пропускной способности в часы пик, где заторы фиксируются на конкретных участках на продолжительное время. Модель Б.Гриншилдса демонстрирует наилучшее соответствие фактическим данным на второстепенных и вспомогательных дорогах: коэффициент детерминации R^2 превышает 0,90, что указывает на высокую точность описания характеристик потоков на перегруженных участках. В то же время фактические скорости свободного потока и плотности затора ниже проектных величин, что дополнительно подтверждает, что заторы в значительной степени обусловлены не только физической структурой дорог, но и организацией транспортного потока, стратегиями управления светофорами и составом транспортных средств.

Данная работа подчеркивает ценность и значимость исследования транспортных заторов для разных уровней дорог. Учитывая значительные различия в городских дорогах различных уровней, модельное выделение и параметрическое определение заторов не только способствует точному выявлению высоко рискованных участков заторов, но и предоставляет научную базу для оптимизации транспортных потоков и разработки стратегий по устранению заторов, создавая более прочную основу для решений в строительстве умной, эффективной и экологически чистой городской транспортной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zyryanov V., Kocherga V., Topilin I. Investigation of Dependencies between Parameters of Two-component Models of the Kinetic Theory of Traffic Flow and Traffic Characteristics // Transportation Research Procedia. 2017. №20. С.746-750. DOI:10.1016/j.trpro.2017.01.120.
2. Greenshields B.D. A study of traffic capacity. Proc. H. R. B. 1935. DOI: <http://dx.doi.org/>.
3. Greenberg H. An Analysis of Traffic Flow // Operations Research. 1959. №7(1). С.79-85. DOI:10.1287/opre.7.1.79.
4. Underwood R.T. Speed, volume, and density relationships: Quality and theory of traffic flow. 1961.
5. Edie L.C. Car-following and steady-state theory for noncongested traffic // Operations research. 1961. №9(1). С. 66-76.
6. Drew D.R. Traffic Flow Theory and Control. // McGraw-Hill Series in Transportation. 1968. С. 316.
7. Zhang Liangliang, Jia Yuanhua, Sun Dongye, Yang Yang. A fuzzy weighted c-means classification method for traffic flow state division. Modern Physics Letters B. 2021. №35(20).
8. Cheng Q., Liu Z., Lin Y. et al. An s-shaped three-parameter (S3) traffic stream model with consistent car

following relationship // Transportation Research Part B: Methodological. 2021. №153. С. 246-271.

9. Чжан Хуэй, Цзянь Чжу, Ли Шубин и др. Исследование метода оценки параметров транспортного потока городской скоростной автомагистрали. Control Engineering. 2020. №27(3). С.6.

10. Цзянь Хайян, Зырянов Владимир. Применение алгоритмов для анализа состояния транспортного потока городской дорожной сети на основе макрофундаментальной диаграммы // Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering Edition). 2022. №46(06). С.986-990+996.

11. Янь Сяолу, Гу Юаньли, Синь Шаньшань и др. Анализ характеристик транспортного потока на городской скоростной автомагистрали // Shandong Science. 2016. №29(3). С. 10. DOI:10.3976/j.issn.1002-4026.2016.03.013.

12. Norin Veniamin, Pukharens Yurii. Statistical processing of traffic flow characteristics data // E3S Web of Conferences. 2023. С. 371

13. Ван Сютоу, Вэй Ютинг, Чжан Хуанхуан. Метод выбора модели кредитного скоринга на основе статистики Колмогорова-Смирнова (KS) // Математическая статистика и управление. 2024. №43(01). С. 100-116. DOI: 10.13860/j.cnki.sltj.20231219-001.

14. Дин Хаоцзе. Исследование влияния методов повторной выборки для наборов данных, несбалансированных по классам // Modern Computer. 2024. №30(14). С. 36-40.

15. Wang Jinghong, Chen Manman, Yan Wenyu, Zhi Youran, Wang Zhirong. A Data-driven Approach to Estimate the Probability of Pedestrian Flow Congestion at Transportation Bottlenecks // KSCE Journal of Civil Engineering. 2019. №23(1).

16. Hodson T.O. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) // When to use them or not. Geoscientific Model Development Discussions. 2022. С. 1-10.

17. Комитет по проектированию автомобильных дорог Китайской ассоциации стандартизации инженерного строительства, Департамент автомобильных дорог, Министерство транспорта. Технические стандарты строительства автомобильных дорог. Народное транспортное издательство. 2004.

Хань Мэнъи

Донской государственный технический университет

Адрес: 344003, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Аспирант

E-mail: hanmengyi@mail.ru

Топилин Иван Владимирович

Донской государственный технический университет

Адрес: Россия, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1

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

E-mail: ivan_top@mail.ru

Зырянов Владимир Васильевич

Донской государственный технический университет

Адрес: Россия, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Организация перевозок и дорожного движения»

E-mail: opdrgsu@mail.ru

M. HAN, I.V. TOPILIN, V.V. ZYRYANOV

MODELING OF TRAFFIC FLOW CHARACTERISTICS ON CONGESTED ROAD SECTIONS BASED ON REAL DATA STUDY

Abstract. This paper presents research results based on real traffic flow data. It analyzes the traffic flow characteristics of arterial, secondary, and local roads under congestion and reveals the spatial - temporal features of traffic congestion across roads of different functional classes. After mathematically processing raw data, including removing anomalies and filling in missing data, credible results were obtained. Significant differences in traffic congestion characteristics and model accuracy across road classes were found, with the best model fit achieved on secondary and local roads. For the first time, this study combines traffic congestion analysis with road hierarchy, offering a theoretical basis for congestion evaluation and identification.

Keywords: traffic congestion, traffic flow characteristics, capacity

BIBLIOGRAPHY

1. Zyryanov V., Kocherga V., Topilin I. Investigation of Dependencies between Parameters of Twocomponent Models of the Kinetic Theory of Traffic Flow and Traffic Characteristics // *Transportation Research Procedia*. 2017. №20. S.746-750. DOI:10.1016/j.trpro.2017.01.120.
2. Greenshields B.D. A study of traffic capacity. *Proc. H. R. B.* 1935. DOI: <http://dx.doi.org/>.
3. Greenberg H. An Analysis of Traffic Flow // *Operations Research*. 1959. №7(1). S.79-85. DOI:10.1287/opre.7.1.79.
4. Underwood R.T. Speed, volume, and density relationships: Quality and theory of traffic flow. 1961.
5. Edie L.C. Car-following and steady-state theory for noncongested traffic // *Operations research*. 1961. №9(1). S. 66-76.
6. Drew D.R. Traffic Flow Theory and Control. // *McGraw-Hill Series in Transportation*. 1968. S. 316.
7. Zhang Liangliang, Jia Yuanhua, Sun Dongye, Yang Yang. A fuzzy weighted c-means classification method for traffic flow state division. *Modern Physics Letters B*. 2021. №35(20).
8. Cheng Q., Liu Z., Lin Y. et al. An s-shaped three-parameter (S3) traffic stream model with consistent car following relationship // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2021. №153. S. 246-271.
9. CHzhan Huey, TSzyan` CHzhu, Li Shubin i dr. Issledovanie metoda otsenki parametrov transportnogo potoka gorodskoy skorostnoy avtomagistrali. *Control Engineering*. 2020. №27(3). S.6.
10. TSzyan` Hayyan, Zyryanov Vladimir. Primenenie algoritmov dlya analiza sostoyaniya transportnogo potoka gorodskoy dorozhnoy seti na osnove makrofundamental'noy diagrammy // *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering Edition)*. 2022. №46(06). S.986-990+996.
11. YAn` Syaolu, Gu YUan`li, Sin` Shan`shan` i dr. Analiz kharakteristik transportnogo potoka na gorodskoy skorostnoy avtomagistrali // *Shandong Science*. 2016. №29(3). S. 10. DOI:10.3976/j.issn.1002-4026.2016.03.013.
12. Norin Veniamin, Pukharenko Yurii. Statistical processing of traffic flow characteristics data // *E3S Web of Conferences*. 2023. S. 371
13. Van Syutuo, Vey YUting, CHzhan Huankhuan. Metod vybora modeli kreditnogo skoringa na osnove statistiki Kolmogorova-Smirnova (KS) // *Matematicheskaya statistika i upravlenie*. 2024. №43(01). S. 100-116. DOI: 10.13860/j.cnki.sltj.20231219-001.
14. Din Haotsze. Issledovanie vliyaniya metodov povtornoy vyborki dlya naborov dannykh, nesbalansirovannykh po klassam // *Modern Computer*. 2024. №30(14). S. 36-40.
15. Wang Jinghong, Chen Manman, Yan Wenyu, Zhi Youran, Wang Zhirong. A Datadriven Approach to Estimate the Probability of Pedestrian Flow Congestion at Transportation Bottlenecks // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2019. №23(1).
16. Hodson T.O. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) // *When to use them or not. Geoscientific Model Development Discussions*. 2022. S. 1-10.
17. Komitet po proektirovaniyu avtomobil'nykh dorog Kitayskoy assotsiatsii standartizatsii inzhenernogo stroitel'stva, Departament avtomobil'nykh dorog, Ministerstvo transporta. Tekhnicheskie standarty stroitel'stva avtomobil'nykh dorog. Narodnoe transportnoe izdatel'stvo. 2004.

Han Mengyi

Don State Technical University
Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don
Postgraduate student
E-mail: hanmengyi@mail.ru

Zyryanov Vladimir Vasilevich

Don State Technical University
Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don
Doctor of Technical Sciences
E-mail: opdrsu@mail.ru

Topilin Ivan Vladimirovich

Don State Technical University
Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don
Candidate of Technical Sciences
E-mail: ivan_top@mail.ru

УДК 656.132

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-65-72

Н.В. ПОЖИВИЛОВ, В.Е. ЛАВРИН, В.М. ЕВАРЕСТОВ

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ МАССЫ ЛОМА ЦВЕТНЫХ И ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В АВТОТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Аннотация. В статье рассматривается разработанная методика нормирования массы лома металлов при утилизации транспортных средств автотранспортного предприятия. Методика предполагает разработку интервальных норм образования массы лома черных и цветных металлов по категориям на основе измерения массы металлов при разборе подконтрольных единиц транспортных средств одной модификации и дальнейшей обработки полученных значений с помощью статистических методов. Допустимые диапазоны нормативных значений предлагается рассчитывать на основе принимаемой доверительной вероятности случайной величины полученной выборки значений масс лома для обеспечения необходимого уровня достоверности устанавливаемых норм. В статье приводится пошаговая методика нормирования с примером расчета данных для городского автобуса ЛиАЗ-429260.

Ключевые слова: автобус, автотранспортное предприятие, методика нормирования, масса лома, транспортное средство, утилизация подвижного состава, цветные и черные металлы

Введение

Управление отходами и утилизация материалов в современном мире становятся все более актуальными вопросами, особенно в контексте повышения экологической ответственности и рационального использования ресурсов. Организованный должным образом процесс утилизации автомобилей позволяет минимизировать пагубное воздействие на окружающую среду, в частности, попадания в почву и атмосферу горюче-смазочных материалов, свинца, электролитов, лития, никеля и других тяжелых металлов, содержащихся в аккумуляторных батареях [1].

В рамках автотранспортных предприятий (АТП) возникает проблема эффективной утилизации лома цветных и черных металлов, образующихся при списании подвижного состава при организации процесса разбора собственными силами предприятия.

Разработка и внедрение системы нормирования массы лома играет важную роль в процессе управления отходами на автотранспортном предприятии. Обеспечение систематизации процесса образования металлического лома позволит определить целесообразность организации специализированного подразделения по разбору транспортных средств собственными силами предприятия, оптимизировать затраты на утилизацию, минимизировать потери материалов и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Эффективная система нормирования должна основываться на методике расчета норм черных и цветных металлов, предполагающей комбинированный подход к решению проблемы утилизации лома металлов, объединяя в себе теоретические аспекты нормирования массы, практические исследования на конкретных примерах и разработку рекомендаций для совершенствования системы управления отходами.

Таким образом, данная научная статья направлена на описание разработанной методики нормирования массы лома цветных и черных металлов в контексте утилизации подвижного состава АТП с целью повышения эффективности процесса управления отходами и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Материал и методы

На предприятиях автомобильного транспорта материальные ресурсы принято делить на две основные группы: первичные и вторичные. Первичные ресурсы АТП – это ресурсы, необходимые для обеспечения транспортного процесса (автомобили, топливо, шины, смазочные материалы), а также проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту

(запасные части, агрегаты, технологическое оборудование). К вторичным ресурсам относят списанные автомобили, отходы, образовавшиеся в процессе эксплуатации транспортных средств, восстановленные детали и т.п.

Переработка и повторное использование отходов весьма целесообразно как с экономической точки зрения [2], так и в целях защиты окружающей среды [3], при этом необходимо создать условия для взаимодействия между предприятиями системы утилизации, субъектами транспортной системы и правительственными органами [4].

Практика развитых стран показывает, что значительная часть утилизируемых транспортных средств подвергается разборке и сортировке на элементы с целью дальнейшей переработки для вторичного использования материалов: в США перерабатываются до 95 % вышедших из эксплуатации автомобилей, в Японии – до 88 %, в Европе – до 85 % [5]. Транспортная утилизационная система США позволяет ежегодно утилизировать около 15 млн транспортных средств [6].

При списании автомобиля в АТП все компоненты транспортного средства можно условно разделить на две группы: доходная часть утилизации и расходная часть утилизации (рис. 1). Стоит отметить, что в отдельных случаях элементы каждой из групп могут принадлежать другой группе по приносимой доходности.

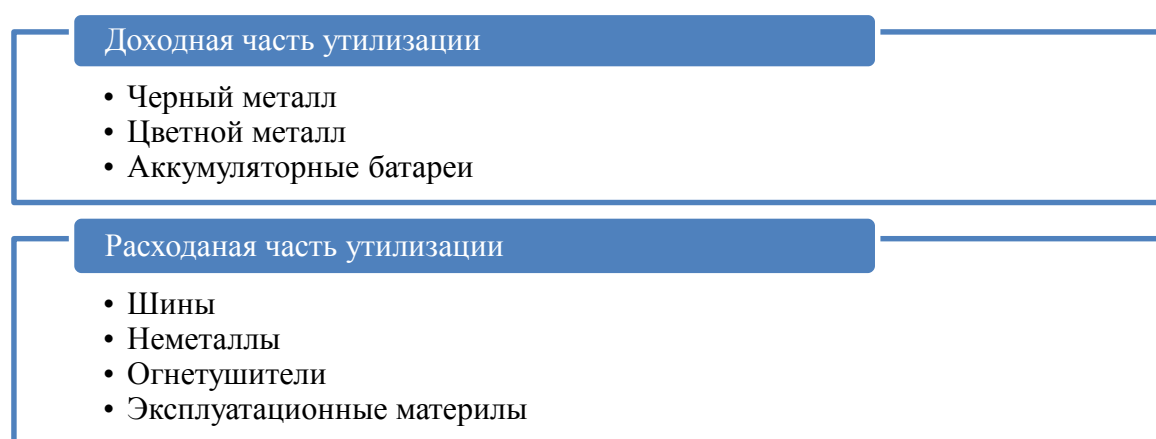


Рисунок 1 – Классификация компонентов транспортного средства при утилизации

На металлы приходится до 80 % от общей массы утилизируемых автомобилей [7]. Металлы подразделяются на две группы: цветные и черные, а также на категории внутри этих групп.

Объем лома черных и цветных металлов, полученный при списании транспортных средств зависит от ряда факторов, характеризующихся особенностями конструкции и комплектацией транспортного средства, массой объекта списания, наличием неметаллических составляющих, степенью физического и коррозионного износа, возможностью и целесообразностью проведения работ по разбору и разделению узлов и агрегатов на черные и цветные металлы. Масса металлических элементов автомобиля может изменяться с увеличением его возраста и накопленного пробега с начала эксплуатации.

Разбор подлежащих списанию автомобилей может быть эффективно организован в крупных АТП, что позволяет создать оборотный фонд запасных частей и материалов, а также извлекать металлологический лом для дальнейшей его реализации [8]. Тем не менее, независимо от того организован разбор списанных транспортных средств собственными силами в АТП или силами подрядчиков, в целях упорядочивания процедуры разбора, целесообразно устанавливать нормы образования лома по категориям цветных и черных металлов.

Целесообразно установление таких норм для модификаций, которые эксплуатируются в АТП в достаточном количестве (свыше 10-15 единиц), при эксплуатации малочисленной модели подвижного состава более эффективным может быть проведение контрольных ко-

миссионных взвешиваний образования лома металлов индивидуально для каждого транспортного средства.

Разработанная методика расчета норм образования лома металлов при списании подвижного состава АТП регламентирует подход определения объема лома черных и цветных металлов, образующегося при утилизации транспортных средств.

Теория / Расчет

В разработанной методике применяется интервальная оценка показателей массы лома металлов утилизируемого транспортного средства, учитывающая износ и коррозию металлов, а также сопутствующую технологическим процессам разборки и измерения массы лома погрешность.

Методика предусматривает описание процедуры получения нормативных значений массы образующегося лома черных и цветных металлов для модели (модификации) транспортного средства, эксплуатируемого в АТП.

Основные этапы методики отображены в блок-схеме (рис. 2).

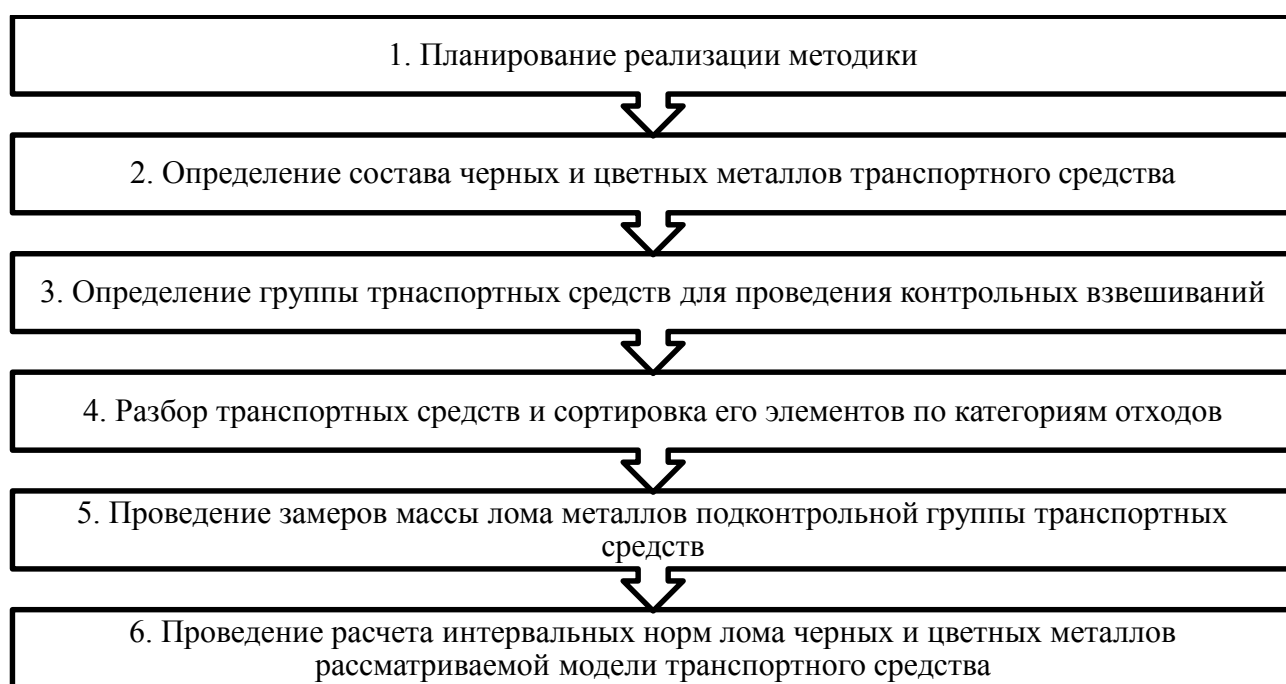


Рисунок 2 - Основные этапы реализации методики расчета норм образования лома металлов списываемых транспортных средств

На первом этапе происходит планирование реализации методики, включающее: определение рассматриваемой модели подвижного состава; формирование рабочей группы (комиссии); подготовка необходимого оборудования и площадки для проведения контрольных замеров массы лома металлов; подготовка бланков проведения контрольных замеров в бумажном или электронном виде и т.д.

На втором этапе необходимо определить состав черных и цветных металлов из которых состоят комплектующие рассматриваемой модели транспортного средства, при этом целесообразно такую классификацию проводить внутри отдельных технологических групп, агрегатов или элементов автомобиля для оптимизации дальнейшего процесса разбора и сортировки по категориям и видам металлов.

В рамках третьего этапа для выбранной модели транспортного средства производится подбор группы автомобилей, для проведения контрольных замеров массы образования лома металлов.

На четвертом этапе необходимо реализовать процедуру разбора транспортного средства на технологические группы, а также провести сортировку этих элементов на категории

материалов, включающие: цветные металлы, черные металлы, а также неметаллические отходы.

Далее производятся замеры массы лома металлов подконтрольной группы транспортных средств, при этом в отчетных бланках замеров необходимо указывать результаты замеров отдельно по каждой категории цветных и черных металлов для каждого рассматриваемого транспортного средства из подконтрольной группы. Измерения массы проводятся на поверенном оборудовании при участии членов рабочей группы с занесением информации в сводные таблицы результатов.

На основе полученных данных проводится расчет нормативных показателей. Далее приводится пример реализации методики расчета норм образования лома черных металлов автобуса ЛиАЗ-429260.

Для разработки норм проводились контрольные взвешивания узлов и агрегатов 5 единиц ЛиАЗ-429260, являющихся представительными транспортными средствами парка предприятия и подлежащих к списанию в АТП, с дальнейшим фиксированием данных.

Лом черных металлов ЛиАЗ-429260 подразделяется на категории:

1. 12А – стальной лом малой толщины (элементы кузова, систем питания, впускной и выпускной системы, колесные диски, ресиверы и др.);
2. 17А – габаритный чугунный лом (блоки цилиндров двигателя, корпуса коробки передач и др.);
3. 5А – негабаритный стальной лом (мосты, карданные валы, элементы рулевого управления и др.).

По прибытии на площадку транспортные средства идентифицировали, затем проводили процедуру приема-передачи, в которой проверялась комплектность основных узлов и агрегатов. Результаты процедуры заносятся в акт приема-передачи транспортного средства. Далее производили:

- Демонтаж дверей и неметаллических элементов салона.
- Извлечение крупных неметаллических элементов, расположенных на крыше и по бокам транспортного средства (стекла, пластиковые кожухи и т.д.) с помощью экскаватора, оснащенным грейфером для металлолома.
- Разбор транспортного средства на крупные элементы, такие как крыша, передняя часть рамы с кузовом, задняя часть рамы с кузовом.
- Демонтаж креплений мостов и ДВС с коробкой передач к раме транспортного средства с их последующим извлечением.
- Извлечение неметаллических элементов, расположенных на днище транспортного средства.
- Извлечение объектов лома металлов по категориям: цветным и черным, для последующего контрольного взвешивания.

Далее производилось контрольное взвешивание с определением масс черных и цветных металлов объектов лома, показания вносились в акт взвешивания узлов и агрегатов списываемого транспортного средства. Проведение взвешивания проходило с использованием соответствующих средств измерений (табл. 1), при участии членов комиссии.

Далее приводился расчет интервальных норм лома черных и цветных металлов рассматриваемой модели транспортного средства на основе данных, полученных при контрольном взвешивании. Далее, представлены этапы расчета на примере лома черного металла категории 12А.

Таблица 1 - Основные технические характеристики применяемых средств измерений

Наименование	Модель	Минимальная нагрузка, кг	Максимальная нагрузка, кг	Цена деления, кг	Диапазон рабочих температур °С
Весы электронные крановые	К 1500 ВРДА	100	15 000	5	-30 ~ +50
Весы товарные общего назначения	ТВ-S-200.2-A3	0,4	200	0,02	-20 ~ +40
Весы электронные лабораторные	M-ER 326 AFU – 32.1	0,05	32	0,001	+10 ~ +40

Математическое ожидание массы лома черного металла категории 12А по транспортному средству в целом:

$$\bar{m}^{429260} = \frac{\sum_{i=1}^5 m_i^{429260}}{N} = \frac{3752,79 + 3651,18 + 3692,40 + 3594,20 + 3732,14}{5} = 3684,54 \text{ кг.} \quad (1)$$

Стандартное отклонение математического ожидания массы лома черного металла категории 12А по транспортному средству в целом:

$$\sigma^{429260}(m) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (m_i^{429260} - \bar{m}^{429260})^2}{N-1}} = 63,76 \text{ кг.} \quad (2)$$

Коэффициент вариации исследуемой выборки массы лома черного металла категории 12А по транспортному средству в целом:

$$\nu^{429260} = \frac{\sigma^{429260}(m)}{\bar{m}^{429260}} = \frac{63,76}{3684,54} = 0,017. \quad (3)$$

При заданном объеме выборке ($N=5$) производился расчет значения относительной точности:

$$\varepsilon_o^{429260} = \frac{t \cdot \nu}{\sqrt{N}} = \frac{1,96 \cdot 0,017}{\sqrt{5}} = 0,015. \quad (4)$$

Далее проводились расчеты норм образования лома черного металла категории 12А по транспортному средству в целом.

Вероятность попадания значения массы для лома черного металла категории 12А по транспортному средству в целом принимается $\gamma = 0,95$, что позволит обеспечить выполнение разработанных нормативов на уровне 95%. Для $\gamma = 0,95$ индекс квантиля нормального распределения равен 0,975. Нормативное значение квантиля нормально распределения для принятой вероятности $u_{0,975} = 1,960$.

Нижняя и верхняя доверительные границы норм образования лома черного металла категории 12А по транспортному средству в целом соответственно:

$$m_H^{429260} = \bar{m}^{429260} - u_{0,975} \cdot \sigma^{429260}(m) = 3684,54 - 1,960 \cdot 63,76 = 3559,58 \text{ кг.} \quad (5)$$

$$m_B^{429260} = \bar{m}^{429260} + u_{0,975} \cdot \sigma^{429260}(m) = 3684,54 + 1,960 \cdot 63,76 = 3809,51 \text{ кг.} \quad (6)$$

Допустимое отклонение от математического ожидания массы лома черного металла категории 12А по транспортному средству в целом:

$$\Delta m^{429260} = \frac{\bar{m}^{429260} - m_H^{429260}}{\bar{m}^{429260}} \cdot 100\% = \frac{3684,54 - 3559,58}{3684,54} \cdot 100\% = 3,39 \%. \quad (7)$$

При небольшом значении вариации данных ($\Delta m^{429260} \leq 2,5\%$), интервалы норм образования лома устанавливались на уровне значения погрешности измерительных приборов, а также погрешности, сопутствующей технологическим процессам разборки и измерения массы лома объектов (принимается $\pm 2,5\%$ от математического ожидания).

Так как значения допустимого отклонения от математического ожидания для категории лома 12А оказались выше 2,5 %, то принимается расчетное значение, полученное по формуле 7.

Результаты и обсуждение

Аналогично для модификации автобуса ЛиАЗ-429260 проводились расчеты массы лома черных металлов других категорий, сводные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчета статистических характеристик и интервальных норм массы лома черных металлов по категориям для автобуса ЛиАЗ-429260

Параметр	Обозначение и размерность	Категории черных металлов		
		5А	12А	17А
Математическое ожидание	\bar{m}^{429260} , кг	1 365,03	3 684,54	758,00
Стандартное отклонение математического ожидания	$\sigma^{429260}(m)$, кг	8,13	63,76	8,37
Коэффициент вариации выборки	v^{429260}	0,006	0,017	0,011
Нижняя доверительная граница норм образования лома	m_H^{429260} , кг	1 330,90	3 559,85	739,05
Верхняя доверительная граница норм образования лома	m_B^{429260} , кг	1 399,15	3 809,51	776,95
Допустимое отклонение от математического ожидания	Δm^{429260} , %	2,50	3,39	2,50
Относительная точность	ε_o^{429260}	0,005	0,015	0,010

В результате, рекомендовано применять интервальные нормы образования лома металлов по категориям.

Для лома черных металлов при утилизации автобусов ЛиАЗ-429260:

- для категории 5А рекомендован диапазон 1 330,90-1 399,15 кг;
- для категории 12А рекомендован диапазон 3 559,85-3 809,51 кг;
- для категории 17А рекомендован диапазон 739,05-776,95 кг.

Процедура нормирования образования лома цветных и черных металлов по категориям для списанных транспортных средств в АТП позволит упорядочить процедуру учета образования вторичных ресурсов при утилизации автомобилей, проводить расчет и прогнозирование поступления доходов от реализации этих ресурсов, кроме того нормы позволят проводить оценку целесообразности организации специализированных пунктов разбора собственными силами предприятия на основе экономического критерия эффективности в сравнении с вариантом передачи комплектного транспортного средства для дальнейшей утилизации силами специализированной организации.

Выводы

Эффективная организация процесса утилизации автомобилей вносит значительный вклад в снижение ущерба экологии при выбытии транспортных средств из эксплуатации. В Российской Федерации существует ряд ограничивающих факторов, в частности недостаточно развита инфраструктура для осуществления утилизации полного цикла, применяются устаревшие технологические процессы утилизации снижающие эффективность переработки [9]. В перспективе целесообразно организовать единую Федеральную систему утилизации выбывших из эксплуатации транспортных средств [10], а также базовые региональные предприятия по восстановлению работоспособного состояния автокомпонентов для дальнейшей повторной установки на транспортные средства [11].

В целях упорядочивания процедуры разбора списанных транспортных средств в АТП целесообразно устанавливать нормы образования лома по категориям цветных и черных металлов.

Предложенная авторами методика может применяться для внутреннего контроля и структурирования работы профильных подразделений предприятия при списании и дальнейшей утилизации транспортных средств.

Разработанные нормы образования лома черных и цветных металлов при утилизации городского автобуса ЛиАЗ-429260 позволили обеспечить учет и контроль фактического образования лома в АТП на основе системы нормативных значений массы и их допустимого отклонения.

Значения общей нормативной массы образования лома черных металлов и допусти-

мого отклонения при утилизации ЛиАЗ-429260 составили: 3684,54 кг и 3,39 % для категории 12А; 758,00 и 2,50 % для категории 17А; 1365,03 и 2,50 % для категории 5А.

Введенные в действие на предприятии нормы образования лома черных и цветных металлов при необходимости могут быть пересмотрены и скорректированы, в случае если общее значение массы металлического лома транспортных средств при разборе регулярно выходит за диапазон значений установленных интервальных норм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов В.С., Игнатов В.И. Пехальский И.А. Экологические аспекты при проведении утилизации самоходной техники // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. №4. С. 31-37. DOI 10.18412/1816-0395-2018-4-31-37. EDN YWJRNG.
2. Катаев Ю.В., Герасимов В.С. Анализ состояния системы утилизации техники и ее законодательная база в России // Технический сервис машин. 2022. №2(147). С. 22-34. DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-2-22-34. EDN AZKZJN.
3. Машкин А.Л., Гоголина Е.С. Сравнение эффективности программ утилизации АТС в РФ и в странах Северной Европы // Вектор экономики. 2021. №2(56). С. 47. EDN FJLJLA.
4. Кузнецова Е.Ю., Овсянников Д.А. Стэйкхолдерский подход в реализации системы утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. № 2(58). С. 96-108. DOI 10.20291/2079-0392-2023-2-96-108. EDN PZJGXS.
5. Искандарова Л.Б., Нигматуллин Р.Г. Анализ утилизации транспортных средств в России // Знание. 2020. № 1-1(77). С. 49-53. EDN SSEAJX.
6. Бобович Б.Б. Утилизация автомобилей и автокомпонентов: Учебное пособие. Москва: МГИУ, 2010. 175 с.
7. Чернышев Д.О., Шкаленко А.И. Паршуков А.Е. Утилизация - вторая жизнь автомобиля // Техника и технология транспорта. 2024. Т. 32. №1. EDN GTDQXW.
8. Бирюков С.П., Губин Б.В., Воронов В. П. Модель формирования доходов и затрат от утилизации снятого с эксплуатации подвижного состава // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сборник научных трудов по материалам 75-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. 2017. С. 11-14.
9. Соловьев С. А., Герасимов В. С., Игнатов В. И. Утилизация транспортных средств на базе автокомбинатов // Твердые бытовые отходы. 2016. №3(115). С. 31-33. EDN VWRPDV.
10. Kuznetsova E.Y., Amosov N.A., Podoliak O.O., Zykova M.A. Peculiarities of the foreign manufactures cars recycling in Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Sevastopol. 2020. P. 052013. DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052013. EDN WCXHWV.
11. Бобович Б.Б. Восстановление деталей и агрегатов транспортных средств как инструмент управления техносферой // Управление техносферой. 2021. Т. 4. №1. С. 1-10. DOI 10.34828/UdSU.2021.53.91.001. EDN ZUYLON.
12. Николаенко М.Н., Минлебаева М.Н. Обзор существующих гидрофобизирующих материалов, используемых в легкой промышленности // Вестник технологического университета. 2015. Т.18. №17.
13. Фролов В.И., Семенов А.П., Гришина И.Н., Кучеров В.Г. Краевой угол смачивания и методы его определения. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2021. 53 с.
14. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия // Успехи химии. №77(7). 2008. С. 619-638.
15. Климов А.А., Куприяновский В.П., Куренков П.В., Мадяр О.Н. Цифровые транспортные коридоры для перевозок грузов и пассажиров // Вестник транспорта. 2017. №10. С. 26-30. EDN ZIVZEL.

Поживил Никита Васильевич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64
К.т.н., доцент кафедры «Эксплуатации автомобильного транспорта и автосервис»
E-mail: nikita.pozhivilov@madi.ru

Лаврин Вячеслав Евгеньевич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
Адрес: 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64
Соискатель ученой степени
E-mail: lavrinvyacheslav270100@gmail.com

Еварестов Вячеслав Михайлович

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
Адрес: 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64
Аспирант
E-mail: evarestoff@yandex.ru

METHOD OF STANDARDIZING THE MASS OF NON-FERROUS AND FERROUS METAL SCRAP GENERATED DURING THE DISPOSAL OF FLEET IN A TRANSIT AGENCY

Abstract. The article discusses the developed methodology for standardizing the mass of scrap metal during the recycling of vehicles of a motor transport enterprise. The methodology involves the development of interval standards for the formation of ferrous and non-ferrous scrap metal by category based on measuring the mass of metals during the dismantling of controlled units of vehicles of the same modification and further processing of the obtained values using statistical methods. It is proposed to calculate the permissible ranges of standard values based on the accepted confidence probability of a random variable to ensure the required level of reliability of the established standards. The article provides a step-by-step standardization methodology with an example of calculating data for the LiAZ-429260 city bus.

Keywords: bus, motor transport enterprise, standardization methodology, scrap mass, vehicle, recycling of rolling stock, non-ferrous and ferrous metals

BIBLIOGRAPHY

1. Gerasimov V.S., Ignatov V.I. Pekhal'skiy I.A. Ekologicheskie aspekty pri provedenii utilizatsii samokhodnoy tekhniki // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2018. T. 22. №4. S. 31-37. DOI 10.18412/1816-0395-2018-4-31-37. EDN YWJRNG.
2. Kataev YU.V., Gerasimov V.S. Analiz sostoyaniya sistemy utilizatsii tekhniki i ee zakonodatel'naya baza v Rossii // Tekhnicheskii servis mashin. 2022. №2(147). S. 22-34. DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-2-22-34. EDN AZKZJN.
3. Mashkin A.L., Gogolina E.S. Sravnenie effektivnosti programm utilizatsii ATS v RF i v stranakh Severnoy Evropy // Vektor ekonomiki. 2021. №2(56). S. 47. EDN FJLJLA.
4. Kuznetsova E.YU., Ovsyannikov D.A. Steykholderskiy podkhod v realizatsii sistemy utilizatsii vyshedshikh iz ekspluatatsii transportnykh sredstv // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2023. № 2(58). S. 96-108. DOI 10.20291/2079-0392-2023-2-96-108. EDN PZJGXS.
5. Iskandarova L.B., Nigmatullin R.G. Analiz utilizatsii transportnykh sredstv v Rossii // Znanie. 2020. № 1-1(77). S. 49-53. EDN SSEAJX.
6. Bobovich B.B. Utilizatsiya avtomobiley i avtokomponentov: Uchebnoe posobie. Moskva: MGIU, 2010. 175 s.
7. Chernyshev D.O., SHkalenko A.I. Parshukov A.E. Utilizatsiya - vtoraya zhizn' avtomobilya // Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2024. T. 32. №1. EDN GTDQXW.
8. Biryukov S.P., Gubin B.V., Voronov V. P. Model' formirovaniya dokhodov i zatrat ot utilizatsii snyatogo s ekspluatatsii podvizhnogo sostava // Problemy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: Sbornik nauchnykh trudov po materialam 75-oy nauchno-metodicheskoy i nauchno-issledovatel'skoy konferentsii MADI. 2017. S. 11-14.
9. Solov'ev S. A., Gerasimov V. S., Ignatov V. I. Utilizatsiya transportnykh sredstv na baze avtokombinatov // Tverdye bytovye otkhody. 2016. №3(115). S. 31-33. EDN VWRPDV.
10. Kuznetsova E.Y., Amosov N.A., Podoliak O.O., Zyкова M.A. Peculiarities of the foreign manufactures cars recycling in Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Sevastopol. 2020. P. 052013. DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052013. EDN WCXHWV.
11. Bobovich B.B. Vosstanovlenie detaley i agregatov transportnykh sredstv kak instrument upravleniya tekhnosferoy // Upravlenie tekhnosferoy. 2021. T. 4. №1. S. 1-10. DOI 10.34828/UdSU.2021.53.91.001. EDN ZUYLON.
12. Nikolaenko M.N., Minlebaeva M.N. Obzor sushchestvuyushchikh gidrofobiziruyushchikh materialov, ispol'zuemykh v legkoy promyshlennosti // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2015. T.18. №17.
13. Frolov V.I., Semenov A.P., Grishina I.N., Kucherov V.G. Kraevoy ugol smachivaniya i metody ego opredeleniya. M.: Izdatel'skiy tsentr RGU nefti i gaza (NIU) im. I.M. Gubkina, 2021. 53 s.
14. Boynovich L.B., Emel'yanenko A.M. Gidrofobnye materialy i pokrytiya // Uspekhi khimii. №77(7). 2008. S. 619-638.
15. Klimov A.A., Kupriyanovskiy V.P., Kurenkov P.V., Madyar O.N. Tsifrovye transportnye koridory dlya perevozok грузов i passazhirov // Vestnik transporta. 2017. №10. S. 26-30. EDN ZIVZEL.

Pozhivilov Nikita Vasilievich

Moscow State Technical University
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky av., 64
Candidate of Technical Sciences
E-mail: nikita.pozhivilov@madi.ru

Evaresov Vyacheslav Mikhailovich

Moscow State Technical University
Address: 125319, Russia, Moscow Leningradsky av., 64
Graduate student
E-mail: evarestofff@yandex.ru

Lavrin Vyacheslav Evgenevich

Moscow State Technical University
Address: 125319, Russia, Moscow Leningradsky av., 64
Graduate student
E-mail: lavrinvyacheslav270100@gmail.com

УДК 629.4.021

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-73-79

А.С. КОСМОДАМИАНСКИЙ, В.И. ВОРОБЬЕВ, О.В. ИЗМЕРОВ, А.Е. КАРПОВ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ИННОВАЦИОНИКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Аннотация. Рассмотрен вопрос повышения эффективности поиска новых технических решений узлов экипажной части локомотивов. Установлено, что использование матрицы уровня средств управления в методах технической инновационики позволяет рационализировать процедуры выявления противоречий, выбор приемов их устранения и формулирование идеального конечного результата. Выявлены недостатки привода фирмы Siemens и предложена конструкция агрегатной схемы, позволяющая повысить технологичность изготовления тягового привода по сравнению с приводом фирмы Siemens, повысить коэффициент сцепления колеса с рельсом примерно на 10-15 % и снизить динамическую неподрессоренную массу примерно на 30 %.

Ключевые слова: научные исследования, инженерный эксперимент, локомотивы, мотор-вагонный подвижной состав

Введение

Создание экипажной части новых локомотивов, значительно отличающихся от уже освоенных производством, требует значительного объема экспериментальных работ, к наиболее сложным и трудоемким из которых относится натурный эксперимент, как сам по себе, так и в качестве части комплекса экспериментальных работ. Причиной этого является факт использования при конструировании локомотивов значительного объема эмпирически полученной информации, что, в свою очередь, обусловлено большим количеством факторов различной физической, химической и т.п. природы, комплексно влияющих на величину показателей, принимаемых во внимание в расчетах. В ряде случаев эмпирические данные, полученные разными исследователями, существенно расходятся [1], в связи с чем они могут оказаться неактуальными для другой конструкции и других эксплуатационных условий. Наконец, как показывает практический опыт, при создании новых конструкций экипажной части могут обнаруживаться новые явления, ранее не учтенные в известных методиках проектирования. При этом возможность сократить объем экспериментов с помощью методов математического моделирования ограничена, поскольку сами модели используют эмпирические данные.

В настоящее время перед отечественным машиностроением стоит задача создания новых импортонезависимых локомотивов, конкурентоспособных с зарубежными. При этом одной из основных трудностей создания таких машин является конструирование узлов экипажной части, в частности, тягового привода. Попытки решить данную проблему путем партнерства с зарубежными фирмами приводят к использованию технических решений, патентно-защищенных от повторения отечественными производителями и технологически сложных, что затрудняет их применение для импортонезависимых локомотивов. Так, на отечественном электровозе 2ЭС8 «Малахит» производства АО «Синара» вместо привода Siemens интегрированной схемы, ранее использованном для электровоза 2ЭС10 был применен привод более старой конструкции с двусторонней тяговой передачей.

Для поиска новых технических решений в нынешних условиях просто метода проб и ошибок уже недостаточно. Необходима новая эффективная методология, в качестве которой может выступить предложенная в нашей стране техническая инновационика [1-3 и др.]. В последнее время авторами опубликован ряд теоретических работ, посвященных использованию методов технической инновационики в исследованиях в области технических наук. Основным препятствием для широкого применения технической инновационики в настоящее время является недостаточное обобщение опыта ее практического использования при реше-

нии конкретных технических задач [4]. Предлагаемая работа является попыткой решения указанной проблемы.

Материал и методы

Проведение значительного числа научных исследований в области технических наук в транспортном машиностроении связано с необходимостью решать проблемы, связанные с устранением недостатков тягового и моторвагонного подвижного состава, выявленных в процессе испытаний опытных образцов и эксплуатации. Как показывает опыт авторов [5-6], в этом случае одной из основных причин неудач и затягивания сроков исследований является трудности выдвижения первоначальной гипотезы.

В существующих учебных пособиях по основам научной работы выдвижение первоначальной гипотезы производится на основе результатов постановки проблемы и критического анализа собранной информации, после чего проводится теоретическое исследование, результаты которого проверяются экспериментом (или гипотеза рассматривается, как часть теоретического исследования). При этом в ходе теоретических исследований могут проводиться предварительные эксперименты, но лишь после выдвижения первоначальной гипотезы (рис. 1).

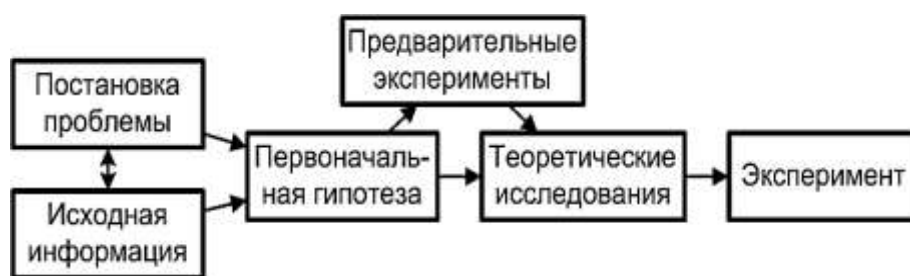


Рисунок 1 – Известная структура начального этапа научного исследования

Данная структура начальной фазы научного исследования принята в естественных науках, где обнаруженное природное явление изучает неопределенное число различных исследователей, а сами исследования не могут быть жестко лимитированы во времени, т.к. природное явление стихийно. В отличие от естественных наук, в технических науках исследуются искусственные объекты, выявленные недостатки могут быть следствием неопределенно большого числа физических и т.п. эффектов и их комбинации. При этом собранная априорная информация часто недостаточна для выдвижения одной первоначальной гипотезы, а сроки решения и возможности проверок гипотез ограничены.

Из изложенного следует вывод, что для эффективной разработки первоначальной гипотезы применительно к задачам технической науки необходимо изменить начальную последовательность этапов научного исследования.

Предлагаемая структура начального этапа научного исследования приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Предлагаемая структура начального этапа научного исследования

Как видно из рисунка 2, после постановки проблемы и анализа исходной информации предлагается ввести стадию анализа униформации, результаты которого, в свою очередь, служат исходными данными для постановки задач инженерного анализа исследуемого технического объекта; при этом попутно может понадобиться создание новых методов эксперимента. Это дает возможность более эффективно разрабатывать первоначальную гипотезу.

Теория

Стадию теоретических исследований предлагается определить, как стадию теоретико-экспериментальных исследований, в связи с практически неизбежной при исследовании технического объекта необходимостью получения эмпирических данных.

Методология поиска новых технических решений в технической инновационике объединяет два направления в теории решения инженерных задач: методическое конструирование, в котором следует выделить прежде всего работы Р. Коллера [7] и К. Рота [8] и отечественное направление ТРИЗ, известно прежде всего по работам Г.С. Альтшуллера, вместе с подобными направлениями [9, 10].

Сильной стороной методического конструирования является подробная алгоритмизация процесса проектирования изделия, однако при этом методическое конструирование само по себе не ориентировано на поиск совершенно новых решений на уровне изобретений и не учитывает недостатка информации при конструировании новой техники, что затрудняет его использование при поиске новых, патентоспособных вариантов. С другой стороны, отечественный ТРИЗ изначально ориентирован именно на поиск нового решения на уровне изобретения и при этом поиска также подробно алгоритмизирован, но при этом процесс поиска предполагает наличие в явном или неявном виде некоего прототипа, для которого надо устранить противоречия, мешающие решению задачи, с помощью тех или иных эмпирически найденных приемов. При этом такие операции, как выбор приемов, процесс выявления противоречий, как и формулирование идеального конечного результата, остаются в значительной степени стихийными процедурами.

В технической инновационике в качестве основы алгоритма поиска нового решения О.В. Измеровым была предложена так называемая матрица уровней средств управления, (рис. 3) (уровней выбора вариантов решения конструктором) [11], в которой число уровней перехода от максимально абстрагированного до предельно конкретизированного описания сокращено до минимума.

При решении изобретательской задачи вначале производится декомпозиция прототипа, то есть, составляются его описания, начиная от конкретного ко все более общим, на каждой из стадий абстрагирования производится анализ требований к изделию на предмет наличия в данных требованиях противоречий, отражающих антагонизмы свойств изделия, формулируется описание изделия без антагонизмов свойств и определяется, может ли быть реализовано такое описание на данном уровне, или же надо переходить на более высокий. Таким образом, уровень решения изобретательской задачи определяется уровнем абстрагированности выбираемых вариантов [12, 13]. Если на данном уровне существует вариант без антагонизмов, то конструирование найденного варианта производится в обратном порядке, путем перехода от более абстрактных описаний к конкретизированному.

В качестве примера рассмотрим анализ интегрированного тягового привода фирмы Siemens отечественного электровоза 2ЭС10 (рис. 4а). Этот привод является результатом разрешения следующих противоречий требований к тяговому приводу с консольным расположением малого зубчатого колеса на валу тягового электродвигателя (ТЭД), возникающих при попытке повысить частоту вращения последнего:

- длину посадочного места малого зубчатого колеса на вал ТЭД надо увеличить из-за уменьшения толщины венца зубчатого колеса и снижения натяга, и нельзя увеличить по габаритным ограничениям;

- диаметр роторного подшипника со стороны зубчатого колеса надо уменьшить для снижения нагрева при увеличении частоты вращения, и нельзя уменьшить из-за снижения нагрузочной способности;
- диаметр вала ТЭД надо уменьшить из-за уменьшения диаметра ведущей шестерни и нельзя уменьшить по требованию изгибной прочности вала.



Рисунок 3 – Матрица уровней средств управления (выбора варианта решения)

Данные противоречия разрешены в приводе интегрированного типа (рис. 4 а) малое зубчатое колесо размещено на двух подшипниковых опорах, ротор ТЭД опирается на подшипник и на вал редуктора через дисковую муфту. При этом для устойчивости вращения ротора потребовалось снизить угловую несоосность ротора ТЭД и малой шестерни за счет жесткой связи корпуса редуктора с корпусом ТЭД. Статическая определимость осевых подшипниковых опор достигнута за счет использования двух осевых подшипников.

Жесткая связь между редуктором и ТЭД ведет к следующим проблемам:

- требуется высокая точность обработки поверхностей фланца редуктора и ТЭД и гнезд под подшипники на редукторе и ТЭД, чтобы исключить расцентровку;
- изгиб оси колесной пары ведет к перекосу зубьев в передаче;
- усложняется сборка привода, невозможно проверить отдельно правильность сборки редуктора и ТЭД.

Переходя от рассмотрения конкретной конструкции тягового привода рис. 4а к его конструктивной схеме, можно сформулировать следующее противоречие требований: между редуктором и ТЭД не должно быть жесткой связи, чтобы упростить обработку корпусных деталей и сборку, и должна быть жесткая связь, чтобы обеспечить соосность валов ТЭД и редуктора.

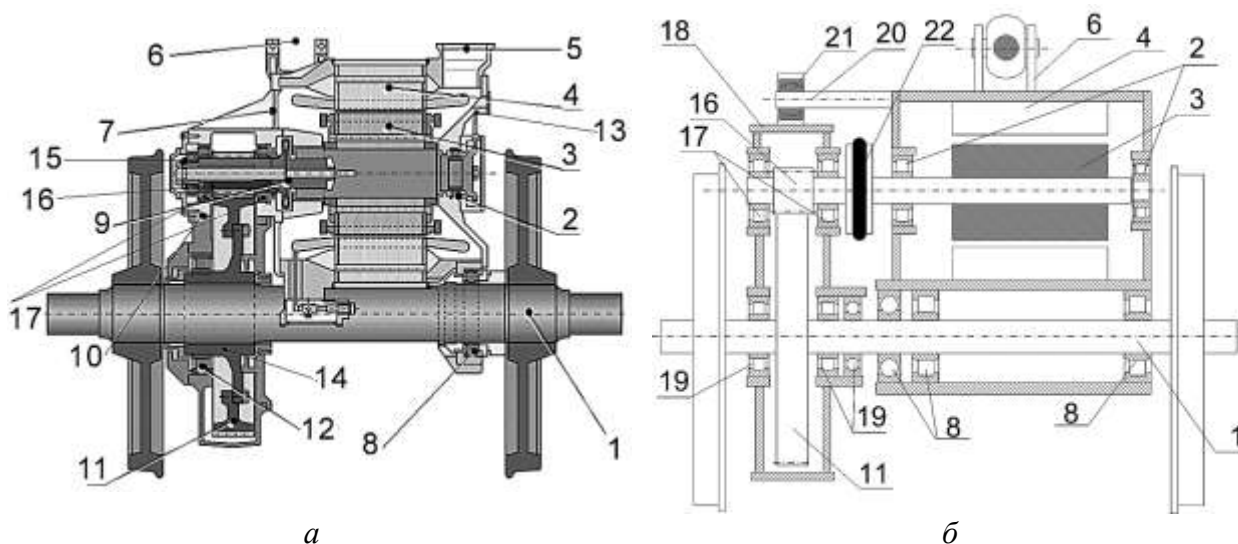


Рисунок 4 – Схемы тягового привода: а - интегрированного; б – агрегатного;

1 – ось колесной пары; 2 – подшипник двигателя; 3 – ротор двигателя; 4 – статор; 5 – патрубок забора охлаждающего воздуха; 6 – кронштейн подвески двигателя; 7 – каналы выхода воздуха; 8 – моторно-осевой подшипник; 9 – мембранная муфта; 10 – соединение редуктора; 11 – венец зубчатого колеса; 12 – моторно-осевой подшипник (сторона редуктора); 13 – задний подшипниковый щит; 14 – ступица зубчатого колеса; 15 – 4-точечный подшипник; 16 – шестерня; 17 – цилиндрический подшипник; 18 – корпус осевого редуктора; 19 – подшипники осевого редуктора; 20 – кронштейн; 21 – подвижное шарнирное соединение; 22 – упруго-компенсационная муфта.

Рассмотрим возможность разрешения сформулированного противоречия требований на данном уровне абстрагирования, т.е. на уровне выбора конструктивной схемы.

Результаты и обсуждение

В конструктивной схеме, не имеющей противоречий требований, связь между редуктором и ТЭД должна одновременно обеспечивать соосность валов редуктора и ТЭД, и одновременно обеспечивать при сборке возможность перемещения корпусных деталей редуктора и ТЭД в пределах погрешностей изготовления деталей. При жесткой связи между редуктором и ТЭД данные противоречия определяют антагонизм свойств связи, который может быть снят применением шарнирной связи между редуктором и ТЭД (рис. 4 б). Благодаря такой связи при перемещении колесной пары во время прохождения неровностей пути не вызывают перемещения редуктора относительно ТЭД [14]. Требования к точности изготовления корпусных деталей и тягового электродвигателя при этом снижаются до уровня, предъявляемого к таковым деталям для опорно-рамного тягового привода с осевым редуктором, ранее освоенного отечественной промышленностью для электровоза ЭП1.

Незначительные несоосности валов редуктора и ТЭД в пределах погрешности изготовления корпусных деталей могут быть скомпенсированы с помощью одинарной упругой муфты, которая при этом будет амортизировать динамические моменты в приводе при прохождении неровностей пути, что ведет к повышению реализуемого коэффициента сцепления примерно на 10-15 % и снижению динамической неподрессоренной массы привода примерно на 30 %.

На данный вариант привода, получивший название агрегатного, имеется патент на полезную модель [15], что подтверждает эффективность применения методов технической инноватики для поиска новых технических решений узлов экипажной части локомотива.

Выводы

1. Создание новых импортонезависимых локомотивов, конкурентоспособных с зарубежными, требует использования новых методов поиска рациональных технических решений, основанных на принципах технической инноватики. При этом основной проблемой является недостаточное обобщение опыта практического использования технической инноватики при решении конкретных технических задач.

2. В результате анализа известных методик поиска новых технических решений установлено, что использование матрицы уровня средств управления в методах технической ин-

новационники позволяет рационализировать такие процедуры решения изобретательских задач, как процесс выявления противоречий, выбор приемов их устранения и формулирование идеального конечного результата.

3. Предлагается перед разработкой первоначальной гипотезы проводить анализ униформации для определения недостающих сведений, необходимых для разработки гипотезы, и получения их методами инженерного анализа.

4. Путем анализа тягового привода локомотива фирмы Siemens интегрированной схемы установлено, что его конструкция определяется необходимостью устранения противоречий к требованиям для узлов и деталей привода с расположением ведущей шестерни на хвостовике вала двигателя. Выявлены недостатки привода фирмы Siemens и противоречия требований, препятствующие устранению этих недостатков.

5. Предложена конструкция тягового привода агрегатной схемы, позволяющая повысить технологичность изготовления тягового привода по сравнению с приводом фирмы Siemens, повысить коэффициент сцепления колеса с рельсом примерно на 10-15 % и снизить динамическую неподдрессоренную массу примерно на 30 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническая инновационика. Проектирование конкурентоспособных машин: Монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. А.С. Космодамианского. Орел: Госуниверситет – УНПК, 2013. 415 с.
2. Техническая инновационика. Проблемы инженерного анализа технических систем: Монография / О.В. Измеров [и др.]. Орел: Госуниверситет – УНПК, 2013. 261 с.
3. Измеров О.В., Кошелев А.В., Чвала А.Н. Проблема воспроизводимости результатов натурных экспериментальных исследований трибологических свойств системы «колесо–рельс» в условиях глобализации рынка рельсовых транспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. 2011. №3(34). С. 28–34.
4. Техническая инновационика. Теоретические основы: Монография / А.С. Космодамианский, М.И. Борзенков, В.И. Воробьев [и др.]. Орёл: ОГУ имени И. С. Тургенева, 2024. 323 с.
5. Инженерный эксперимент, как подсистема инновационного проектирования: Монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. А. С. Космодамианского. Орел: ОрелГТУ, 2011. 401 с.
6. Техническая инновационика. Теоретические основы: монография / А.С. Космодамианский [и др.]. Орел: Госуниверситет, 2024. 323 с.
7. Koller R. Konstruktionsmethode fur den Mashinen-, Gerate- und Apparatebau: монография. Berlin: Springer-Verlag, 1976. 191 p.
8. Roth K. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1: Konstruktionslehre: Монография. Aufl. – Berlin: Springer, 2000. 440 с.
9. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука: Монография. М.: Сов. радио, 1979.
10. Голдовский Б.И., Вайнерман М.И. Комплексный метод поиска решений технических проблем: Монография. М.: Речной транспорт, 1990. 111 с.
11. Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем: Монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. А. С. Космодамианского. Орел: Госуниверситет – УНПК, 2015. 234 с.
12. Ибрагимов М.А., В.Д. Шаров, Г.А. Хромова Основы инженерной и научной работы: Учебное пособие. М.: РГОТУПС, 2006. 115 с.
13. Лудченко А.А., Лудченко Я.А., Примак Т.А. Основы научных исследований: Учебное пособие. 2-е изд., стер. Киев: Знания, КОО, 2001. 113 с.
14. Повышение надежности экипажной части тепловозов: Монография / А.И. Беляев, Б.Б. Бунин, С.М. Голубятников [и др.]; под ред. Л.К. Добрынина. М.: Транспорт, 1984. 248 с.
15. Тяговый привод локомотива: пат. 164797 Рос. Федерация. № 2016148973 / Воробьев В.И., Измеров О.В., Новиков В.Г. [и др.]; заявл. 12.12.16; опубл. 20.09.16, Бюл. № 26.

Космодамианский Андрей Сергеевич

Российский университет транспорта

Адрес: 125993, Россия, г. Москва, ул. Часовая, 22/2

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав»

E-mail: askosm@mail.ru

Воробьев Владимир Иванович

Брянский государственный технический университет

Адрес: 241035, Россия, г. Брянск, б-р 50 лет Октября, 7

К.т.н., доцент, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог»

E-mail: vladimvorob@yandex.ru

Измеров Олег Васильевич

Брянский государственный технический университет

Адрес: 241035, Россия, г. Брянск, б-р 50 лет Октября, 7

Соискатель кафедры «Подвижной состав железных дорог»

E-mail: izmerov@yandex.ru

Карпов Артем Евгеньевич

Российский университет транспорта

Адрес: 125993, Россия, г. Москва, ул. Часовая, 22/2

Ассистент кафедры «Тяговый подвижной состав»

E-mail: akarpov576@gmail.ru

A.S. KOSMODAMIANSKY, V.I. VOROBYOV, O.V. IZMEROV, A.E. KARPOV

EXPERIENCE OF APPLYING TECHNICAL INNOVATION TO CREATE NEW COMPONENTS OF ROLLING STOCK

Abstract. *The problem of increasing the efficiency of searching for new technical solutions for locomotive undercarriage components is considered. It is found that using the level matrix of management tools in the methods of technical innovation makes it possible to rationalize the procedures for identifying contradictions, choosing methods for their elimination and formulating the perfect final result. The disadvantages of the Siemens drive have been identified and the design of the assembly diagram has been proposed, which makes it possible to increase the manufacturability of the traction drive compared to the Siemens drive, increase the coefficient of adhesion of the wheel to the rail by about 10-15% and reduce the dynamic unsprung mass by about 30 %.*

Keywords: *scientific research, engineering experiment, locomotives, motor-car rolling stock*

BIBLIOGRAPHY

1. Tekhnicheskaya innovatsionika. Proektirovanie konkurentosposobnykh mashin: Monografiya / O.V. Izmerov [i dr.]; pod red. A.S. Kosmodamianskogo. Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2013. 415 s.
2. Tekhnicheskaya innovatsionika. Problemy inzhenernogo analiza tekhnicheskikh sistem: Monografiya / O.V. Izmerov [i dr.]. Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2013. 261 s.
3. Izmerov O.V., Koshelev A.V., CHvala A.N. Problema vosproizvodimosti rezul'tatov naturnykh eksperimental'nykh issledovaniy tribologicheskikh svoystv sistemy "koleso-rel's" v usloviyakh globalizatsii rynka rel'sovykh transportnykh sredstv // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2011. №3(34). S. 28-34.
4. Tekhnicheskaya innovatsionika. Teoreticheskie osnovy: Monografiya / A.S. Kosmodamianskiy, M.I. Borzenkov, V.I. Vorob'ev [i dr.]. Oriol: OGU imeni I. S. Turgeneva, 2024. 323 s.
5. Inzhenernyy eksperiment, kak podсистема innovatsionnogo proektirovaniya: Monografiya / O.V. Izmerov [i dr.]; pod red. A. S. Kosmodamianskogo. Orel: OrelGTU, 2011. 401 s.
6. Tekhnicheskaya innovatsionika. Teoreticheskie osnovy: monografiya / A.S. Kosmodamianskiy [i dr.]. Orel: Gosuniversitet, 2024. 323 s.
7. Koller R. Konstruktionsmethode fur den Maschinen-, Gerate- und Apparatebau: monografiya. Berlin: Springer-Verlag, 1976. 191 p.
8. Roth K. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1: Konstruktionslehre: Monografiya. Aufl. - Berlin: Springer, 2000. 440 s.
9. Al'tshuller G.S. Tvorchestvo kak tochnaya nauka: Monografiya. M.: Sov. radio, 1979.
10. Goldovskiy B.I., Vaynerman M.I. Kompleksnyy metod poiska resheniy tekhnicheskikh problem: Monografiya. M.: Rechnoy transport, 1990. 111 s.
11. Kiberneticheskie aspekty metodov sinteza elektromekhanicheskikh sistem: Monografiya / O.V. Izmerov [i dr.]; pod red. A. S. Kosmodamianskogo. Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2015. 234 s.
12. Ibragimov M.A., V.D. Sharov, G.A. Hromova Osnovy inzhenernoy i nauchnoy raboty: Uchebnoe posobie. M.: RGOTUPS, 2006. 115 s.
13. Ludchenko A.A., Ludchenko YA.A., Primak T.A. Osnovy nauchnykh issledovaniy: Uchebnoe posobie. 2-e izd., ster. Kiev: Znaniya, KOO, 2001. 113 s.
14. Povyshenie nadezhnosti ekipazhnoy chasti teplovozov: Monografiya / A.I. Belyaev, B.B. Bunin, S.M. Golubyatnikov [i dr.]; pod red. L.K. Dobrynina. M.: Transport, 1984. 248 s.
15. Tyagovyy privod lokomotiva: pat. 164797 Ros. Federatsiya. № 2016148973 / Vorob'ev V.I., Izmerov O.V., Novikov V.G. [i dr.]; zayavl. 12.12.16; opubl. 20.09.16, Byul. № 26.

Kosmodamiansky Andrey Sergeevich

Russian University of Transport

Address: 125993, Russia, Moscow

Doctor of Technical Sciences

E-mail: askosm@mail.ru

Izmerov Oleg Vasilyevich

Bryansk State Technical University

Address: 241035, Russia, Bryansk

Fellow of the Department «Railway Rolling Stock»

E-mail: izmerov@yandex.ru

Vorobyov Vladimir Ivanovich

Bryansk State Technical University

Address: 241035, Russia, Bryansk

Candidate of Technical Sciences

E-mail: vladimvorob@yandex.ru

Karpov Artyom Evgenievich

Russian University of Transport

Address: 125993, Russia, Moscow

Assistant of the Department «Traction Rolling Stock»

E-mail: akarpov576@gmail.ru

УДК 656.13

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-80-88

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

ОРГАНИЗАЦИЯ ОДНОСТОРОННЕГО ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА: ПРЕИМУЩЕСТВА, ПРОБЛЕМЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию организации одностороннего дорожного движения в центральных частях городов как инструмента оптимизации транспортных потоков. Рассмотрены преимущества и недостатки одностороннего движения, его влияние на транспортную инфраструктуру, экологию и качество жизни горожан. Предложены практические рекомендации по внедрению одностороннего движения с учётом международного опыта и современных технологий.*

***Ключевые слова:** одностороннее движение, транспортная инфраструктура, оптимизация трафика, городское планирование, моделирование дорожного движения*

Введение

Современные города сталкиваются с растущими проблемами, связанными с увеличением плотности транспортных потоков, особенно в центральных районах. Одним из эффективных решений для оптимизации движения является организация одностороннего дорожного движения. Этот подход позволяет снизить заторы, уменьшить количество аварий и улучшить экологическую ситуацию. Однако внедрение одностороннего движения требует тщательного планирования и учёта множества факторов, включая особенности городской инфраструктуры, потребности жителей и бизнеса, а также экологические и социальные аспекты [1]. Цель данной статьи — проанализировать преимущества и недостатки организации одностороннего движения в центральной части города, а также предложить практические рекомендации для его успешного внедрения в городе Липецке.

Материал и методы

Рассмотрим преимущества, проблемы и практические аспекты при организации одностороннего дорожного движения.

1. Преимущества одностороннего дорожного движения

1.1. Снижение заторов и повышение пропускной способности дорог. Одностороннее движение позволяет увеличить пропускную способность дорог за счёт уменьшения конфликтных точек, таких как пересечения потоков и левые повороты. Это особенно актуально для узких улиц в центральных районах городов, где двустороннее движение часто приводит к заторам [2].

1.2. Улучшение безопасности дорожного движения [3]. Одностороннее движение снижает вероятность лобовых столкновений и конфликтов между автотранспортными средствами. Это особенно важно для пешеходов, которые могут переходить дорогу, не опасаясь встречного транспорта.

1.3. Снижение уровня шума и загрязнения воздуха. Уменьшение заторов и более равномерное движение транспорта способствуют снижению уровня шума и выбросов вредных веществ [4]. Это особенно важно для центральных районов, где высокая плотность населения и интенсивное движение транспорта негативно влияют на качество жизни горожан.

1.4. Оптимизация парковочного пространства. Одностороннее движение позволяет более эффективно использовать парковочное пространство, так как автомобили могут парковаться с одной стороны дороги, не создавая помех для движения [5].

2. Недостатки и проблемы организации одностороннего движения

2.1. Увеличение длины маршрутов. Одностороннее движение может привести к увеличению длины маршрутов, так как водители вынуждены объезжать кварталы для достижения пункта назначения, что вызывает недовольство среди жителей и водителей.

2.2. Сложности для общественного транспорта. Организация одностороннего движения может потребовать изменения маршрутов общественного транспорта, что может привести к увеличению времени в пути для пассажиров [6].

2.3. Негативное влияние на местный бизнес. Изменение транспортных потоков может негативно сказаться на местном бизнесе, особенно если доступ к магазинам и предприятиям становится менее удобным для клиентов.

2.4. Необходимость перестройки инфраструктуры. Внедрение одностороннего движения требует значительных изменений в инфраструктуре, включая установку новых знаков, светофоров и разметки. Это может быть связано с высокими затратами и временными неудобствами для жителей.

3. Практические аспекты внедрения одностороннего движения

3.1. Анализ транспортных потоков и инфраструктуры [7]. Перед внедрением одностороннего движения необходимо провести детальный анализ транспортных потоков, инфраструктуры и потребностей жителей. Это включает изучение интенсивности движения, наличия парковочных мест и маршрутов общественного транспорта.

3.2. Разработка схемы движения. На основе анализа транспортных потоков разрабатывается схема одностороннего движения, которая должна учитывать потребности всех участников дорожного движения, включая пешеходов, велосипедистов и общественный транспорт [8].

3.3. Информирование и вовлечение общественности. Успешное внедрение одностороннего движения невозможно без активного участия общественности. Необходимо провести информационную кампанию, объясняющую преимущества нового режима движения, а также учесть мнение жителей и бизнеса.

3.4. Мониторинг и корректировка. После внедрения одностороннего движения необходимо проводить мониторинг его эффективности и вносить корректировки в случае возникновения проблем. Это может включать изменение маршрутов общественного транспорта, установку дополнительных знаков и разметки [9].

4. Международный опыт организации одностороннего движения

4.1. Примеры успешного внедрения. Многие города мира успешно внедрили одностороннее движение в центральных районах. Например, в Нью-Йорке односторонние улицы составляют значительную часть дорожной сети, что способствует снижению заторов и улучшению безопасности дорожного движения.

4.2. Уроки и лучшие практики применения. Международный опыт показывает, что успешное внедрение одностороннего движения требует комплексного подхода, включающего анализ транспортных потоков, разработку схемы движения и активное вовлечение общественности [10].

4.3. Адаптация опыта для российских городов. Российские города могут адаптировать международный опыт с учётом своих особенностей, таких как климатические условия, плотность застройки и уровень автомобилизации.

Теория / Расчет

Рассмотрим участок улично-дорожной сети, расположенный в пределах улиц Советской, Карла Маркса, Петровского проезда и площади Революции города Липецка. Площадь Революции расположена в Советском и Правобережном округах на пересечении Советской улицы, Петровского проезда и улицы Карла Маркса. Улица Советская магистральная улица, проходит от площади Революции до площади Победы и пересекает улицы Скороходова, Фрунзе, Ворошилова, Горького, Крайнюю. Петровский проезд одна из районных улиц в центральной части города Липецка, проходит от площади Революции до улицы Зегеля. Улица Карла Маркса - улиц в Правобережном округе Липецка [11]. Проходит вдоль Нижнего пар-

ка от площади Революции до дороги вдоль реки Воронеж. Ситуационный план рассматриваемого участка представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Ситуационный план участка улично-дорожной сети, расположенного в пределах улиц Советской, Карла Маркса, Петровского проезда и площади Революции города Липецка

На рассматриваемом участке расположены следующие остановки общественного транспорта: Площадь Революции, Площадь Театральная, Площадь Петра Великого, кинотеатр Октябрь, Нижний парк. Через рассматриваемую транспортную сеть проходят следующие маршруты городского пассажирского транспорта 2, 6, 9т, 12, 17, 22, 25, 27, 28, 30, 36, 300, 302, 308к, 315, 321, 323, 330, 332, 343, 347, 352, 356, 359, 380. На протяжении рассматриваемого участка транспортной сети уложено асфальтобетонное покрытие, состояние покрытия – отличное. Дорожная разметка находится в удовлетворительном состоянии. Данная сеть оборудована необходимыми дорожными знаками. Выбранный участок улично-дорожной сети оборудован необходимыми дорожными знаками, установлена светофорная сигнализация. Схема организации дорожного движения приведена на рисунке 2.

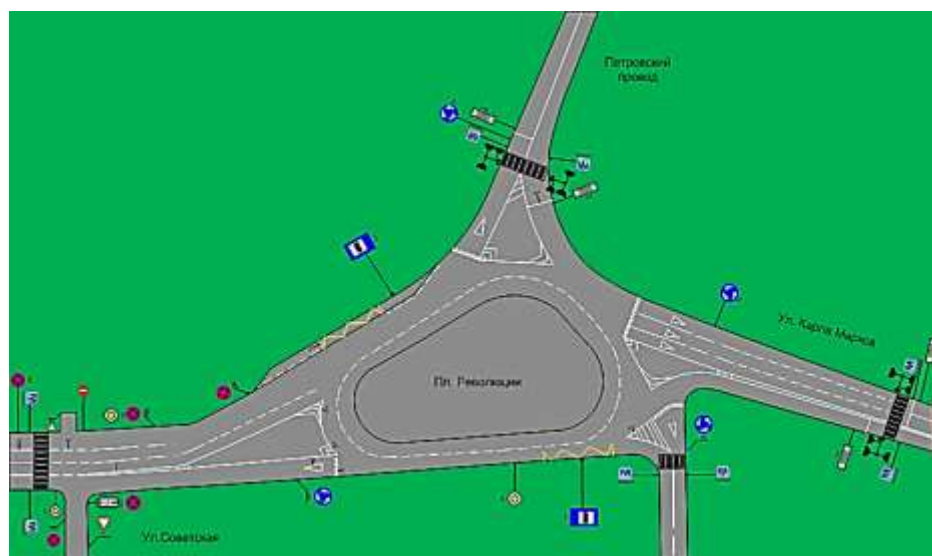


Рисунок 2 – Существующая схема организации дорожного движения

Обследование интенсивности движения транспортного потока проводилось в будний день в часы пик. Суммарная интенсивность движения транспортных средств неравномерна и

составляет от 2550 до 2850 авт./час в различное время суток. Картограмма интенсивности движения транспортных потоков и диаграмма состава потока приведены на рисунке 3.

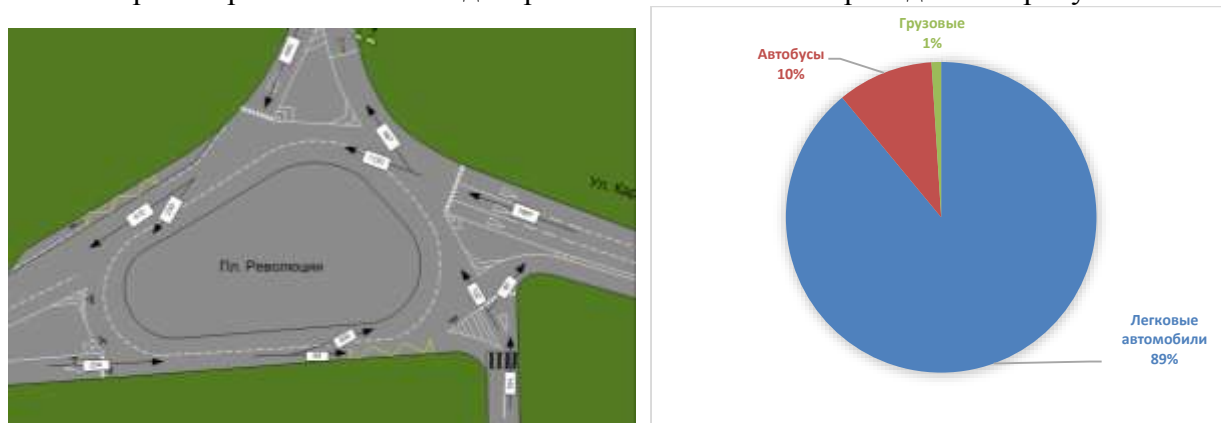


Рисунок 3 - Картограмма интенсивности движения и диаграмма состава потока

Основные заторы происходят в вечерний час пик, когда большое количество автомобилей с промышленного левого берега города Липецка возвращается в спальные микрорайоны [12]. Для снижения автотранспортной загрузки центральности части города на рассматриваемом участке предлагается введение одностороннего движения по улицам Карла Маркса и Литаврина. Основными рекомендациями по внедрению одностороннего движения являются:

1. Поэтапное внедрение. Рекомендуется внедрять одностороннее движение поэтапно, начиная с небольших участков дорог и постепенно расширяя зону действия.

2. Использование современных технологий. Для повышения эффективности одностороннего движения можно использовать современные технологии, такие как интеллектуальные транспортные системы, системы мониторинга трафика и моделирование транспортных потоков [13-15].

3. Учёт экологических и социальных аспектов. При внедрении одностороннего движения необходимо учитывать экологические и социальные аспекты, такие как снижение уровня шума и загрязнения воздуха, а также улучшение качества жизни горожан.

Предлагаемая схема организации дорожного движения приведена на рисунке 4.

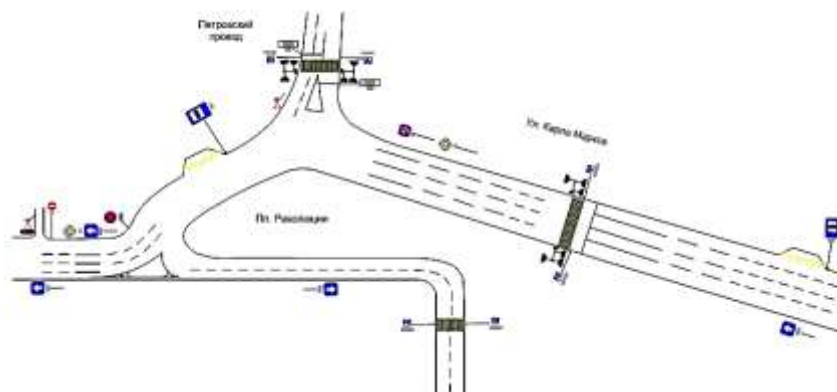


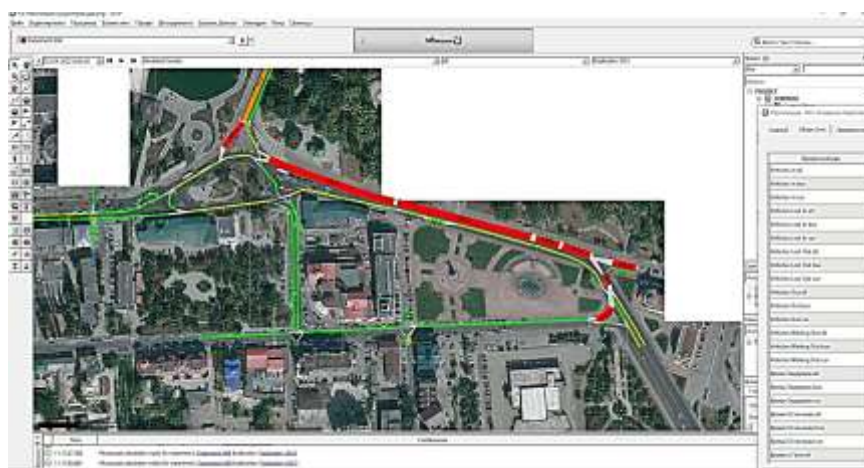
Рисунок 4 – Организация одностороннего движения транспортных средств

Определение эффективности внедрения мероприятий по организации дорожного движения будем проводить с помощью имитационного моделирования в программе Aimsun. Aimsun - это мощная программа для имитационного моделирования транспортных потоков, которая позволяет анализировать и прогнозировать движение транспорта в городских и межгородских условиях [16-18]. Она предоставляет инструменты для создания детализированных моделей дорожных сетей, симуляции различных сценариев и оценки их влияния на транспортную систему. Aimsun широко используется для оптимизации дорожной инфраструктуры, планирования общественного транспорта и анализа воздействия новых проектов на транспортные потоки. Созданная имитационная транспортная модель существующей схемы организации движения приведена на рисунке 5.

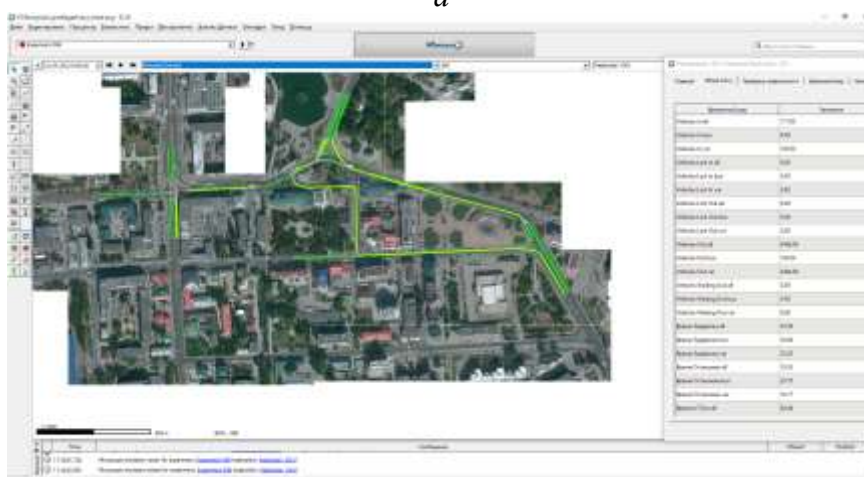


Рисунок 5 – Имитационная модель улично-дорожной сети

Результаты имитационного моделирования транспортных потоков при существующей и предлагаемой схеме организации движения на рассматриваемом участке улично-дорожной сети приведены на рисунке 6. Как видно, загрузка транспортной сети снижается [19-21].



а



б

Рисунок 6 – Моделирование транспортных потоков при существующей и предлагаемой схеме организации движения: а - Существующая схема организации движения, б - Предлагаемая схема организации движения

Результаты и обсуждение

Организация дорожного движения является одной из ключевых задач городского планирования и управления транспортными системами. Эффективная организация движения способствует снижению заторов, повышению безопасности дорожного движения и улучшению экологической ситуации. Для оценки текущего состояния и разработки мер по оптимизации используются различные параметры дорожного движения, такие как интенсивность транспортных потоков, плотность, скорость движения, уровень заторов и задержки [22]. Характеристики транспортных потоков, полученные методом имитационного моделирования, приведены на рисунке 7. Оценка параметров показывает, что транспортная задержка и плотность потоков снижается, а скорость прохождения участка транспортными средствами увеличивается.

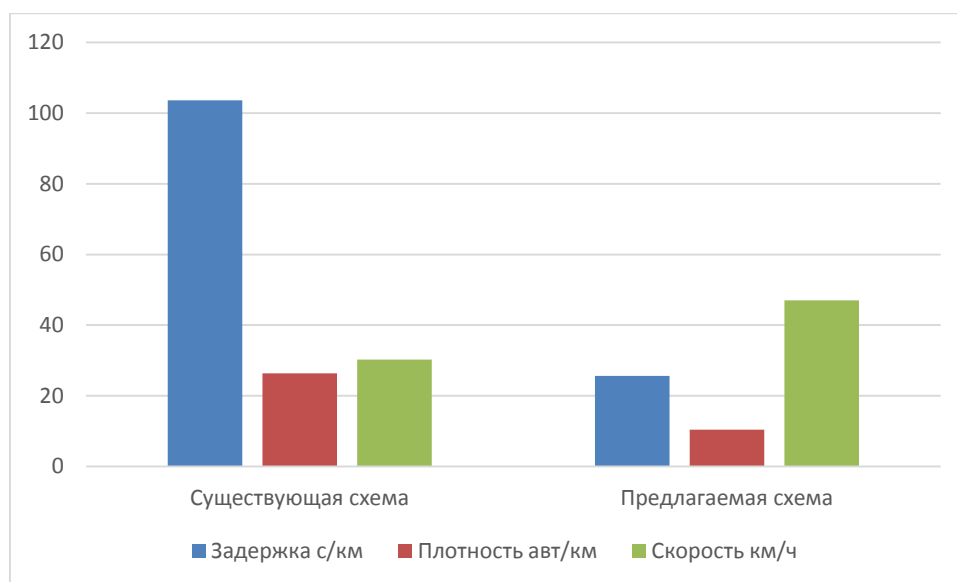


Рисунок 7 – Характеристики транспортных потоков до и после предлагаемых мероприятий

Оценка организации дорожного движения на основе параметров дорожного движения является важным инструментом для оптимизации транспортных систем. Использование современных методов и инструментов позволяет выявить проблемные участки дорожной сети, разработать эффективные меры по их улучшению и повысить качество жизни горожан. Регулярный мониторинг и анализ данных, а также активное использование технологий и вовлечение общественности являются ключевыми факторами успеха.

Выводы

Организация одностороннего дорожного движения в центральной части города является эффективным инструментом для оптимизации транспортных потоков, улучшения безопасности дорожного движения и снижения экологической нагрузки. Однако успешное внедрение этого подхода требует тщательного планирования, учёта мнения общественности и использования современных технологий. Международный опыт показывает, что одностороннее движение может быть успешно адаптировано для российских городов, способствуя созданию комфортной и устойчивой городской среды.

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. Дорохин С.В., Артемов А.Ю. Развитие методов управления транспортными потоками в малых и средних городах // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-1(80). С. 60-67.

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. Капский Д.В., Богданович С.В. Бионическое развитие транспортных систем городов // Архитектура: Сборник научных трудов. Минск: БНТУ, 2023. С. 28-34.
7. Ляпин С.А., Кадасев Д.А., Дмитриев С.А., Воронин Н.В. Планирование транспортной загрузки района города // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-2 (86). С. 10-17.
8. 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.
9. Имитационное моделирование в проектах ИТС: учебное пособие / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, А.В. Шадрин, М.В. Гаврилюк. М.: МАДИ, 2016. 92 с.
10. Баротова А.Ж. Имитационная модель перекрёстка с возможностью оптимизации светофорного регулирования // 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. Основы автоматизации интеллектуальных транспортных систем: Учебник / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, С.В. Богданович [и др.]. Вологда: ООО «Издательство «Инфра-Инженерия», 2022. 412 с.
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: 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.
21. Домбаляев А.В., Шаталова Е.Е. Разработка мероприятий по организации дорожного движения в городах с учетом экологических параметров // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-3(78). С. 105-109.
22. Новиков А.Н., Васильева В.В., Катунин А.А. Прогнозирование воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду урбанизированных территорий на основе моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2016. №2(55). С. 210-215.

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 кафедры управления автотранспортом

E-mail: stels650n@mail.ru

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

ORGANIZATION OF ONE-WAY TRAFFIC IN THE CENTRAL PART OF THE CITY: ADVANTAGES, CHALLENGES AND PRACTICAL ASPECTS

Abstract. The article is devoted to the study of the organization of one-way traffic in the central parts of cities as a tool for optimizing traffic flows. The advantages and disadvantages of one-way traffic, its impact on transport infrastructure, ecology and quality of life of citizens are considered. Practical recommendations for the implementation of one-way traffic are proposed, taking into account international experience and modern technologies.

Keywords: one-way traffic, transport infrastructure, traffic optimization, urban planning, traffic 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. Dorokhin S.V., Artemov A.YU. Razvitie metodov upravleniya transportnymi potokami v mal'kikh i srednikh gorodakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №1-1(80). S. 60-67.
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. Kapskiy D.V., Bogdanovich S.V. Bionicheskoe razvitie transportnykh sistem gorodov // Arkhitektura: Sbornik nauchnykh trudov. Minsk: BNTU, 2023. S. 28-34.
7. Lyapin S.A., Kadasev D.A., Dmitriev S.A., Voronin N.V. Planirovanie transportnoy zagruzki rayona goroda // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-2 (86). S. 10-17.
8. 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.
9. Imitatsionnoe modelirovanie v proektakh ITS: uchebnoe posobie / S.V. Zhankaziev, A.I. Vorob'ev, A.V. Shadrin, M.V. Gavriluk. M.: MADI, 2016. 92 s.
10. Barotova A.ZH. Imitatsionnaya model' perekriostka s vozmozhnost'yu optimizatsii svetofornogo regulirovaniya // 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. Osnovy avtomatizatsii intellektual'nykh transportnykh sistem: Uchebnik / D.V. Kapskiy, E.N. Kot, S.V. Bogdanovich [i dr.]. Vologda: OOO "Izdatel'stvo "Infra-Inzheneriya", 2022. 412 s.
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: 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 ulitse 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.
21. Dombalyan A.V., Shatalova E.E. Razrabotka meropriyatiy po organizatsii dorozhnogo dvizheniya v gorodakh s uchetom ekologicheskikh parametrov // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2022. №3-3(78). S. 105-109.
22. Novikov A.N., Vasil'eva V.V., Katunin A.A. Prognozirovaniye vozdeystviya avtotransportnykh potokov na akusticheskuyu sredu urbanizirovannykh territoriy na osnove modelirovaniya // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2016. №2(55). S. 210-215.

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

УДК 656.13.05

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-89-94

А.К. ПОГОДАЕВ, В.Э. КЛЯВИН, Г.С. БОРОВКОВА, С.В. ЖИХОРЕВА

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОБУСТРОЙСТВА ГОРОДСКИХ УЛИЦ НА РИСКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

Аннотация. Рассмотрена возможность определения степени влияния объектов инфраструктуры на обеспечение безопасности дорожного движения на маршруте. Для этого предлагается использовать метод балльной оценки риска, в основе которого лежит экспертная оценка, ранжирование и количественный показатель. Приведённый пример показывает, что наибольший риск возникновения аварийной ситуации на предполагаемом маршруте вызывает отсутствие ограждения проезжей части.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, объект инфраструктуры, балльная оценка риска

Введение

Современное развитие автотранспортного комплекса России можно охарактеризовать двумя наиболее яркими тенденциями.

С одной стороны – это согласно государственной политике, целенаправленное внедрение интеллектуальной транспортной системы, «при помощи инновационных методов организации и управления предоставляющая субъектам транспортной отрасли сервисы по планированию, координированию, информированию, а также более безопасному и эффективно-му использованию транспортных сетей» [1]. «В рамках нацпроекта «Безопасные качественные дороги» реализуется целый комплекс мероприятий, позволяющих существенно повысить качество жизни россиян: выполняется не только ремонт существующих и строительство новых дорожных объектов, но и ведется комплексная модернизация дорожной инфраструктуры... В 2024 году интеллектуальные транспортные системы внедряют в 62 городских агломерациях» [2].

Другая тенденция носит более специализированный характер. Согласно «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года», востребована «необходимость увеличения грузооборота автомобильным транспортом и снижения стоимости тарифов на транспортно-логистические услуги» [3]. «Современный автомобильный грузовой транспорт обеспечивает высокую сохранность доставляемого груза, обладает инфраструктурной гибкостью, оперативностью перевозки и реагирования на любые изменения внешних условий, а также предоставляет комфорт и легкость обслуживания клиентов в большей степени благодаря активному развитию и использованию современных информационных технологий» [4].

Исходя из этого важнейшим направлением деятельности становится снижение влияния дорожно-транспортных происшествий (ДТП) как на транспортно-логистические, так и интеллектуальные транспортные системы. Для обеих систем основным критерием эффективности, как правило, является минимизация задержек движения транспортных средств [5]. Можно смело утверждать, что основной причиной задержек транспортных потоков являются ДТП как с пострадавшими, так и с материальным ущербом. При этом «...на территории городов и населённых пунктов регистрируется три четверти (77,7 %) всех ДТП» [6]. Поэтому обеспечение безопасности дорожного движения (БДД) на маршрутах транспортно-логистических систем в городских агломерациях приобретает особое значение.

Как показывает международный опыт, в основе подавляющего большинства дорожно-транспортных инцидентов лежит человеческий фактор, при этом отмечается, что «на поведение человека часто более эффективно можно воздействовать дорожно-технической мерой,

чем обучением и контролем полиции» [7]. В частности, в «Докладе о реализации в 2022 году Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 – 2024 годы» среди основных направлений совершенствование улично-дорожной сети по условиям безопасности дорожного движения. В качестве примера можно привести исследование, согласно которому установка разделительного ограждения на городской магистральной улице приводит к снижению аварийности на 10 % [8]. Исходя из этого, не снижая важность правоприменительной практики и социального маркетинга, целесообразным для обеспечения БДД на маршрутах транспортно-логистических систем, пролегающих на территории городских агломераций, является исследование влияния конкретных объектов инфраструктуры на риск возникновения ДТП с возможностью его снижения. И, что важно, «...Показателем, свидетельствующим как о степени развития улично-дорожной сети города, так и о системе организации движения транспорта и пешеходов, является уровень безопасности движения транспорта и пешеходов» [9].

Материал и методы

Обеспечение БДД является сложной научной задачей, так как отличается многообразием системообразующих элементов, зачастую непредсказуемостью процессов функционирования, многокритериальностью и т.п., «которые объясняют трудности ее формализации, трудности познания ее свойств, эффективной организации, а значит и качественного управления» [10].

Существуют различные методики оценки обеспечения уровня безопасности дорожного движения. Официально это метод, основанный на анализе статистических данных о ДТП, метод коэффициентов аварийности и метод коэффициентов безопасности (Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.4.005-2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах», с. 6). С помощью этих методов можно оценить влияние некоторых факторов на безопасность движения, но использовать их для управления уровнем обеспечения БДД не представляется возможным.

Существуют методы непосредственной оценки риска возникновения ДТП на участке автомобильной дороги или улицы. К таким, например, относится экспресс-метод оценки безопасности дорожного движения, приведённый в работе [11]. Однако для реализации метода необходимо исследование 11 параметров дорожных условий из 18 частных коэффициентов аварийности.

Необходимо учитывать, что в настоящее время органы местного самоуправления, наделены широкими полномочиями по обеспечению БДД. Это накладывает дополнительные требования к методам оценки уровня обеспечения БДД на маршрутах, связанных, в частности, с транспортно-логистическими системами, такие как простота и минимальная трудоёмкость, или, иначе говоря «должны быть изложены доступным языком и ориентированы на применение в деятельности государственных органов - субъектов обеспечения БДД как на федеральном, так и на региональном уровне» [12].

Исходя из вышесказанного для оценки влияния рисков возникновения ДТП от элементов обустройства городских улиц и осуществления обоснованных управляющих решений по обеспечению БДД предлагается использовать метод балльной оценки риска, который относится к методикам «количественной» оценки риска [13].

Преимущества метода балльных оценок [14]:

- Простота и понятность. Метод балльных оценок легко понять и применить.
- Универсальность. Метод можно использовать для оценки рисков в различных областях деятельности.
- Возможность сравнения. Результаты оценки рисков можно сравнивать между собой, что позволяет отслеживать динамику изменения рисков.

Метод состоит из следующих этапов [14]: 1) идентификация рисков (в рассматриваемом случае – выбор объектов инфраструктуры, оказывающих влияние на обеспечение безопасности дорожного движения); 2) оценивание рисков (экспертная оценка рисков); 3) ран-

жирование рисков; 4) оценивание рисков в баллах.

Расчёт

Первый и второй этапы, рассматриваемые далее в качестве примера, обоснованы и представлены в работе [15], исходя из которой были отобраны 8 элементов обустройства, характерных для маршрута в городских условиях, чьё отсутствие или неверное исполнение оказывает влияние на аварийность.

Ранжирование результирующих экспертных оценки риска возникновения ДТП осуществлялось с помощью определения расстояния Хемминга [16] между обобщенной оценкой риска каждого элемента обустройства и функцией принадлежности элемента термножества «очень низкий» [17].

Для примера был выбран маршрут протяжённостью 5 км с шестиполосной проезжей частью. На маршруте расположены 16 регулируемых и 8 нерегулируемых пешеходных переходов. Ограждение проезжей части присутствует только на 600 м маршрута. Отсутствие разметки на пешеходных переходах зафиксировано в период 8 месяцев на 4 переходах, 6 месяцев – на 9 переходах, 3 месяца – на 11 переходах. Недостаточная видимость в зоне пешеходного перехода зафиксирована в 11 случаях. Отсутствуют 12 островков безопасности. Неправильное расположение автобусных остановок у пешеходных переходов обнаружено в 2 случаях. Десять автобусных остановок не имеют заездных карманов.

Риск в баллах R_i для каждого объекта инфраструктуры рассчитывается по формуле:

$$R_i = \frac{(d_i - d_{min})}{(d_{max} - d_{min})} \cdot 9 + 1, \quad (1)$$

где d_i – расстояние Хемминга (таблица 1);

d_{max} и d_{min} – соответственно максимальное и минимальное расстояние Хемминга (табл. 1).

Оценка рисков в баллах с учётом количества рассматриваемых объектов инфраструктуры O_i на приведённом в качестве примера маршруте рассчитывается по формуле

$$O_i = N_i \cdot R_i, \quad (2)$$

где N_i – количественный показатель i -того объекта инфраструктуры, приведённый в табл. 1.

Однако два из рассматриваемых объекта инфраструктуры не могут быть посчитаны напрямую. Это ограждение проезжей части, измеряемое в метрах, и разметка пешеходных переходов, которая носит временной характер.

Расчёт количественного показателя отсутствия ограждения проезжей части $N_{опч}$ предлагается выполнять исходя из кратности 100 м в соответствии с требованиями «ГОСТ Р 52289-2019 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств», являющегося обязательным, согласно которому ограничивающие пешеходные ограждения применяют на протяжении не менее 50 м в каждую сторону (в сумме соответственно 100 м) от всех регулируемых и нерегулируемых наземных пешеходных переходов. Тогда:

$$N_{опч} = \frac{L_m - L_{опч}}{100} = \frac{5000 - 600}{100} = 44, \quad (3)$$

где L_m – длина маршрута (в приводимом примере $L_m = 5000$ м);

$L_{опч}$ – длина установленного ограждения ($L_{опч} = 600$ м). Причём, в расчёт принимается только длина отрезка улицы, где есть ограждение, независимо от способа установки – с одной стороны, по обе стороны или в центре проезжей части.

Разметка пешеходных переходов зависит от качества покрытия, интенсивности движения и других факторов, поэтому может быть в наличии определённое количество времени. Причём на разных переходах разное время. Предлагается рассчитывать количественный показатель отсутствия разметки пешеходного ограждения по формуле

$$N_{нр} = \sum n_i \cdot \frac{t_i}{12} = 4 \cdot \frac{8}{12} + 9 \cdot \frac{6}{12} + 11 \cdot \frac{3}{12} = 9.9, \quad (4)$$

где n_i – число пешеходных переходов на маршруте ($N_{нр} = 24$), на которых отсутствует разметка в течении t_i месяцев (в приводимом примере: 4 перехода – 8 месяцев, 9 переходов – 6, 11 переходов – 3).

Таблица 1 – Результаты расчёта оценки рисков в баллах

Объект инфраструктуры	Расстояние Хемминга	Оценка в баллах	Данные по маршруту	Сумма баллов
Нерегулируемый пешеходный переход	14,43406	10,00	8	80,00
Регулируемый пешеходный переход	9,78893	1,00	16	16,00
Отсутствие ограждения проезжей части	10,97971	3,31	44	145,51
Отсутствие разметки на пешеходном переходе	10,77971	2,92	9,9	28,90
Недостаточная видимость в зоне пешеходного перехода	12,13075	5,54	11	60,91
Отсутствие островков безопасности	10,59471	2,56	12	30,73
Неправильное расположение автобусной остановки у пешеходного перехода	12,20575	5,68	2	11,37
Автобусная остановка без кармана	11,00075	3,35	10	33,48
Итого:				406,91

Как видно из таблицы 1, наибольшее число баллов набрал объект инфраструктуры «ограждение проезжей части». Что немаловажно, так как взятый в качестве примера маршрут пролегает через районы с высокой интенсивностью пешеходного движения. При длине маршрута 5000 м ограждение проезжей части покрывает всего 600 м, что существенно повышает риск выхода пешехода на проезжую часть в неположенном месте с соответствующими последствиями.

Следует также отметить, что переоборудование нерегулируемых пешеходных переходов в регулируемые (строительство надземных или подземных переходов весьма дорогостоящее мероприятие) с ликвидацией остальных недостатков, итоговый риск составит 24 балла, что менее 6 % от существующего.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты оценки рисков непосредственно указывают не только на необходимые мероприятия по повышению безопасности дорожного движения, но и очерёдность их выполнения. Реализация этих мероприятий на конкретном маршруте в сочетании с мониторингом аварийности «до» и «после» может дать важную дополнительную информацию для более точной оценки влияния на неё элементов обустройства.

Необходимо отметить, что лежащая в основе экспертная оценка рисков возникновения ДТП предполагает индивидуальный подход как к перечню элементов обустройства, так и к особенностям конкретной городской агломерации. При этом для общности подходов к решаемой задаче необходимо чётко обозначить критерии подбора экспертов, так как именно их оценка в конечном итоге может оказать решающее значение на принимаемые решения.

Выводы

Метод балльной оценки рисков возникновения ДТП позволяет не только выявлять соответствующие проблемы на маршрутах транспортно-логистических систем, но и принимать обоснованные управляющие решения по обеспечению БДД и планомерно осуществлять их решение. Необходимо отметить, что предложенный метод не требует сложных и дорогостоящих исследований. Оценка влияния выражена в доступной форме для лиц, принимающих решение на любом уровне.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект 24-21-00291.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров С.В., Шационок П.В., Ерпылева А.И., Жарков Д.И. Мировой и российский опыт применения интеллектуальных транспортных систем // Транспортное дело России = Transport business in Russia // Экономика, управление, транспорт. 2022. №2(159). С. 130-136.
2. Министерство транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. Официальный сайт. Москва. Об-

новляется в течение суток. URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/11607?ysclid=m9bfzlbls1190683747>.

3. Бейм А. Развитие автомобильных перевозок в транспортно-логистических услугах // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Т. 13. №9А. С. 334-339. DOI: 10.34670/AR.2023.61.98.092.

4. Harris I., Wang Y.L., Wang H.Y. ICT in multimodal transport and technological trends: unleashing potential for the future // International Journal of Production Economics. 2015. №159(1). P. 88-103.

5. Болбаков Р.Г., Маркелов В.М., Цветков В.Я. Топологическое моделирование на геоданных // Перспективы науки и образования. 2014. №2. С. 34-39.

6. Дорожно-транспортная аварийность в российской федерации за 9 месяцев 2024 года: Информационно-аналитический обзор / К.С. Баканов, П.В. Ляхов, А.С. Айсанов и др.; под ред. Д.В. Митрошина, О.М. Поршников. М: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2024. 41 с.

7. Global status report on road safety 2015. Geneva: World Health Organization, 2015. 324 p.

8. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Изюмский А.А., Коцурба С.В. Элементы дорожной инфраструктуры и влияние их на безопасность дорожного движения // International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies. Vol. 12. №2. 2022. P. 49-68. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-49-68.

9. Абдульязнов А.Р. Дорожно-транспортная система современного городского пространства (социологический анализ) // Проблемы развития территории. 2019. №2(100). С. 116-126. DOI: 10.15838/ptd.2019.2.100.7.

10. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. Безопасность движения как подсистема транспортно-логистической системы региона // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. Т. 2. №2(71). С. 275-279.

11. Абрамова Л.С., Птица Г.Г., Капинус С.В., Харченко Т.В. Разработка моделей экспресс-анализа безопасности дорожного движения // Наука и техника. Т. 20. №6. 2021. С. 528-538. DOI: 10.21122/2227-1031 -2021 -20-6-528-538.

12. Майоров В.И. Управление риском в системе обеспечения безопасности дорожного движения // Вестник уральского института экономики, управления и права. №3. 2018. С. 8-12.

13. Радзиевский М.Г. Методики первичной диагностики проектных рисков // Молодой ученый. 2015. №15(95). С. 411-415.

14. Оценка рисков в лаборатории и ведение реестра рисков [Электронный ресурс] / Линко. Информационная платформа: сайт. URL: <https://linqo.ru/Blog/C?N=172>.

15. Корчагин В.А., Погодаев А.К., Клявин В.Э., Суворов В.А. Метод объективной оценки уровня обеспечения безопасности движения // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. №1. С. 10-12.

16. Кофман Л. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.

17. Погодаев А.К., Клявин В.Э., Сысоев А.С., Боровкова Г.С., Жихорева С.В. Анализ рисков возникновения инцидентов на улично-дорожной сети // Инновации и передовые технологии в развитии транспортных систем: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж. 2025. С. 5-9.

Погодаев Анатолий Кирьянович

Липецкий государственный технический университет

Адрес: 398040, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30

Д.т.н., профессор

E-mail: pogodaev_ak@mail.ru

Клявин Владимир Эрнстович

Липецкий государственный технический университет

Адрес: 398040, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30

Д.т.н., доцент, ГНС НИИ ЛГТУ

E-mail: vllk@list.ru

Боровкова Галина Сергеевна

Липецкий государственный технический университет

Адрес: 398040, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30

К.т.н., доцент

E-mail: haligh@mail.ru

Жихорева Светлана Викторовна

Липецкий государственный технический университет

Адрес: 398040, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30

Аспирант

E-mail: szhikhoreva@list.ru

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF RISKS ON THE OCCURRENCE OF ROAD TRAFFIC ACCIDENTS ON THE ROUTE IN URBAN CONDITIONS

Abstract. The possibility of determining the degree of influence of infrastructure facilities on ensuring road safety on the route is considered. For this purpose, it is proposed to use the risk point assessment method, which is based on expert assessment, ranking and quantitative indicator. The given example shows that the greatest risk of an emergency situation on the proposed route is caused by the absence of a roadway fence.

Key words: road safety, road accident, infrastructure facility, point risk assessment

BIBLIOGRAPHY

1. Egorov S.V., Shatsionok P.V., Erpyleva A.I., ZHarkov D.I. Mirovoy i rossiyskiy opyt primeneniya intellektual'nykh transportnykh sistem // Transportnoe delo Rossii = Transport business in Russia // Ekonomika, upravlenie, transport. 2022. №2(159). S. 130-136.
2. Ministerstvo transporta Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs]. Ofits. sayt. Moskva. Ob-novlyayetsya v techenie sutok. URL: <https://mintrans.gov.ru/presscenter/news/11607?ysclid=m9bfzlbls1190683747>.
3. Beym A. Razvitiye avtomobil'nykh perevozok v transportno-logisticheskikh uslugakh // Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra. 2023. T. 13. №9A. S. 334-339. DOI: 10.34670/AR.2023.61.98.092.
4. Harris I., Wang Y.L., Wang H.Y. ICT in multimodal transport and technological trends: unleashing potential for the future // International Journal of Production Economics. 2015. №159(1). P. 88-103.
5. Bolbakov R.G., Markelov V.M., TSvetkov V.YA. Topologicheskoe modelirovanie na geodannykh // Perspektivy nauki i obrazovaniya. 2014. №2. S. 34-39.
6. Dorozhno-transportnaya avariynost' v rossiyskoy federatsii za 9 mesyatsev 2024 goda: Informatsi-onno-analiticheskiy obzor / K.S. Bakanov, P.V. Lyakhov, A.S. Aysanov i dr.; pod red. D.V. Mitroshina, O.M. Portashnikova. M: FКУ "NTS BDD MVD Rossii", 2024. 41 s.
7. Global status report on road safety 2015. Geneva: World Health Organization, 2015. 324 p.
8. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Izyumskiy A.A., Kotsurba S.V. Elementy dorozhnoy infrastruktury i vliyanie ikh na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies. Vol. 12. №2. 2022. R. 49-68. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-49-68.
9. Abdul'zhanov A.R. Dorozhno-transportnaya sistema sovremennoy gorodskogo prostranstva (sotsiologicheskii analiz) // Problemy razvitiya territorii. 2019. №2(100). S. 116-126. DOI: 10.15838/ptd.2019.2.100.7.
10. Konovalova T.V., Kotenkova I.N. Bezopasnost' dvizheniya kak podsistema transportno-logisticheskoy sistemy regiona // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2013. T. 2. №2(71). S. 275-279.
11. Abramova L.S., Ptitsa G.G., Kapinus S.V., Harchenko T.V. Razrabotka modeley ekspres-analiza bezopasnosti dorozhno-go dvizheniya // Nauka i tekhnika. T. 20. №6. 2021. S. 528-538. DOI: 10.21122/2227-1031 -2021 -20-6-528-538.
12. Mayorov V.I. Upravlenie riskom v sisteme obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Vestnik ural'skogo instituta ekonomiki, upravleniya i prava. №3. 2018. S. 8-12.
13. Radzievskiy M.G. Metodiki pervichnoy diagnostiki proektnykh riskov // Molodoy uchenyy. 2015. №15(95). S. 411-415.
14. Otsenka riskov v laboratorii i vedenie reestra riskov [Elektronnyy resurs] / Linko. Informatsionnaya platforma: sayt. URL: <https://linqo.ru/Blog/C?N=172>.
15. Korchagin V.A., Pogodaev A.K., Klyavin V.E., Suvorov V.A. Metod ob"ektivnoy otsenki urovnya obespecheniya bezopasnosti dvizheniya // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2017. №1. S. 10-12.
16. Kofman L. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv: Per. s frants. M.: Radio i svyaz', 1982. 432 s.
17. Pogodaev A.K., Klyavin V.E., Sysoev A.S., Borovkova G.S., Zhikhoreva S.V. Analiz riskov vozniknoveniya intsidentov na ulichno-dorozhnoy seti // Innovatsii i peredovye tekhnologii v razvitiy transportnykh sistem: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voronezh. 2025. S. 5-9.

Pogodaev Anatoly Kiryanovich

Lipetsk State Technical University
Address: 398040, Russia, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30
Doctor of Technical Sciences
E-mail: pogodaev_ak@mail.ru

Klyavin Vladimir Ernstovich

Lipetsk State Technical University
Address: 398040, Russia, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30
Doctor of Technical Sciences
E-mail: vllk@list.ru

Borovkova Galina Sergeevna

Lipetsk State Technical University
Address: 398040, Russia, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30
Candidate of Technical Sciences
E-mail: halig@mail.ru

Zhikhoreva Svetlana Viktorovna

Lipetsk State Technical University
Address: 398040, Russia, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30
Graduate student
E-mail: szhikhoreva@list.ru

УДК 656.13

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-95-104

А.В. ИГНАТОВ, В.Н. БАСКОВ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОДСИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ-СРЕДА» НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Аннотация. В статье описано влияние показателей подсистемы «Водитель-Среда» на систему «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда». Рассмотрены факторы, позволяющие оценить состояние надежности и безотказности водителя, такие как: время реакции, кожно-гальваническая реакция, частота сердечных сокращений, температура тела, артериальное давление, сатурация. Также рассмотрены факторы среды, влияющие на состояние водителя: микроклимат внутри транспортного средства (вибрация, шум, температура, влажность, запыленность), метеорологическая дальность видимости, геомагнитная солнечная активность, атмосферное давление. Выведены соответствующие каждому фактору коэффициенты их оценки. Предложен повышающий коэффициент, исходя из нижнего предела безопасного времени управления автомобилем для водителей личного и коммерческого транспорта для уточнения индивидуального коэффициента риска. Сделан вывод о необходимости дальнейшего комплексного изучения влияния и оценки остальных элементов системы «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда».

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, водитель, среда, безотказность, видимость, артериальное давление, частота сердечных сокращений, геомагнитная солнечная активность

Введение

На уровень безопасности дорожного движения (БДД) оказывает влияние взаимодействие элементов системы «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда» (ВАДС). Причем, наибольшее влияние оказывает элемент «Водитель» и сопряженный с ним элемент «Среда». Несмотря на существующую тенденцию развития беспилотных транспортных средств (ТС) с целью вывода наиболее непредсказуемого элемента «Водитель» из системы ВАДС, темпы модернизации транспортного комплекса в этом направлении свидетельствуют о том, что пилотные ТС будут эксплуатироваться многие десятилетия и вопрос оценки влияния элементов системы ВАДС останется актуальным.

Определение уровня безопасных условий транспортного процесса с точки зрения воздействия элемента «Водитель» возможно при помощи оценки параметров, которые поддается количественной оценке, например: время реакции, кожно-гальваническая реакция (КГР), частота сердечных сокращений (ЧСС), температура тела, величина систолического и диастолического артериального давления (САД и ДАД), сатурация, число зафиксированных нарушений Правил дорожного движения РФ (ПДД РФ). Однако, стоит отметить, что многие качественные показатели водителя, касающиеся психологических особенностей практически невозможно подвергнуть точной оценке (настроение, темперамент, дисциплинированность, ответственность и т.д.). Элемент «Среда», помимо взаимодействия с автомобилем и дорогой, существенное влияние оказывает и на водителя с точки зрения следующих факторов: видимость, слепящее Солнце, геомагнитная солнечная активность, атмосферное давление, температура окружающей среды, влажность, вибрация, шум, запыленность. Вопросам оценки влияния отдельных элементов системы ВАДС на безопасные условия эксплуатации ТС посвящены следующие работы [1-10].

Следовательно, возникает вопрос оценки влияния подсистемы «Водитель-Среда», как наиболее значимой, в системе ВАДС на уровень БДД.

Материал и методы

Оценка элемента «Водитель» на общее состояние системы ВАДС может производиться анализом его психофизиологического состояния, от которого зависит частный показатель работоспособности, отражающий высокую производительность труда и общий показатель надежности, отражающий безаварийный характер выполняемой работы. Надежность водите-

ля состоит из следующих групп показателей: медицинские, психофизиологические, в т.ч. социально-психологические и профессиональные.

Показатели, характеризующие состояние водителя приведены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Показатели оценки состояния водителя

По причине того факта, что ряд качественных показателей не представляется возможным оценить количественно, а также индивидуальных особенностей людей, у которых нормальные значения определенных показателей (например, частота дыхательных движений) существенно отличаются друг от друга – выделим основные показатели, при помощи которых возможно дать количественную оценку надежности элемента «Водитель» и сопряженного с ним элемента «Среда».

Теория / Расчет

Одним из основных показателей надежности и безотказности водителя является время его реакции, среднее значение которого у различных людей отличается. Более того, это значение изменяется в течение рабочего времени в сторону снижения на этапе встраивания водителя (в начале рабочего времени) и в сторону увеличения в связи с утомлением к концу рабочего времени. Общепринятым в России значением безопасного интервала по времени реакции принято считать интервал от 0,6 сек. до 1,4 сек. и каждое значение из этого интервала будет считаться безопасным для определенной дорожно-транспортной ситуации (ДТС): появление пешехода на проезжей части, маневры соседних ТС в нарушение ПДД РФ, падение груза, отлетевшее колесо от ТС и т.д.[11].

Один из методов оценки бодрствования водителя – измерение его КГР или электрической активности кожи (ЭАК), т.е. по скорости изменения электрического сопротивления кожи. Предельные значения КГР с учетом профессионально-важных качеств водителя (ПВК) и показателей предрейсового мед. осмотра представлены в таблице 1.

Еще одним показателем, позволяющим оценить состояние водителя является величина ЧСС, нормальные значения которой изменяются с возрастом в сторону увеличения (табл.2).

Таблица 1 – Предельные значения КГР с учетом профессионально-важных качеств

водителя и показателей предрейсового мед. осмотра [12]

№ п/п	Условия ПВК и показателей предрейсового медицинского осмотра	Величина КГР _{крит.} , сек
1	В норме	≥60
2	Не более одного уязвимого ПВК	≥50
3	Не более двух уязвимых ПВК, показатели предрейсового медицинского осмотра отличаются не более, чем на 10 % от допустимых значений	≥45

Таблица 2 – Нормальный интервал ЧСС и предельно допустимые значения в зависимости от возраста человека [13]

№ п/п	Возраст, лет	Мин.-макс. ЧСС	Возраст, лет	Предельно допустимые ЧСС
1	15-50	60-80	20-29	180
			30-39	185
			40-49	180
2	50-60	65-85	50-59	170
3	60-80	70-90	60 и старше	160

Температура тела водителя также характеризует состояние его физиологического здоровья. В течение суток этот показатель меняется и нормальный интервал при измерении в подмышечной впадине составляет от 36,4° С до 36,8° С. Следовательно, средний уровень нормальной температуры для подмышечной впадины – 36,6° С [14]. Стоит отметить, что при измерении на других участках тела величина температуры будет немного отличаться. Изменение этого показателя как в сторону увеличения, так и в сторону снижения будет свидетельствовать об ухудшении состояния человека, а значит и его работоспособности. Влияние температуры тела человека на его физиологическое состояние отражено в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние температуры тела человека на его физиологическое состояние [14]

Температура тела, °С	Характеристика состояния здоровья человека
> 42	Критический уровень, потеря сознания
> 43-44	Смертельный уровень
< 35	Замедление процессов в мозге, гипотермия
< 30	Критический уровень, потеря сознания
< 27-24	Смертельный уровень

Величина артериального давления также может свидетельствовать о состоянии водителя. Этот показатель делится на 2 вида: систолическое артериальное давление (САД), так называемое «верхнее» и диастолическое артериальное давление (ДАД) так называемое «нижнее». Оптимальным значением считается интервал 100-120/60-80 мм рт. ст. Нормальным значением считается интервал 120-130/80-85 мм рт. ст. Выход за пределы этих значений будет свидетельствовать либо о наличии гипотонии (пониженное давление), либо, наоборот, о гипертонии (повышенное давление), что приводит к головокружению, ухудшению внимания и реакции, слабости, вплоть до потери сознания. Классификация артериального давления у человека представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Классификация артериального давления у человека [15]

Категория АД	Систолическое АД, мм рт. ст.	Диастолическое АД, мм рт. ст.
Гипотония	< 100	< 60
Оптимальный уровень	100-119	60-79
Нормальный уровень	120-129	80-84
Высокий нормальный уровень	130-139	85-89
Умеренная гипертония	140-159	90-99
Гипертония средней тяжести	160-179	100-109
Тяжелая гипертония	> 180	> 110

Еще одним физиологическим показателем состояния здоровья, который получил более широкое распространение во время эпидемии COVID-19, стала величина сатурации крови

кислородом. Определение этого показателя является более надежным в сравнении с определением частоты дыхательных движений (ЧДД), т.к. нормальное значение ЧДД существенно отличается у людей различной степени физической натренированности, пола и возраста. Нормальное значение сатурации у здорового человека составляет 95-98 %. Наиболее распространенным методом неинвазивного измерения является пульсоксиметрия, заключающаяся в определении возможности гемоглобина, связанного (HbO_2) и не связанного (Hb) с кислородом, абсорбировать свет различной длины волны. Математическая модель определения показателя SpO_2 , по результату проведенной пульсоксиметрии выглядит следующим образом [16]:

$$SpO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb} 100. \quad (1)$$

Характеристика уровней сатурации крови кислородом представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристика уровней сатурации крови кислородом [17]

Степень дыхательной недостаточности	SpO_2 , %
Норма	≥ 95
I (незначительная)	90-94
II (умеренная)	75-89
III (выраженная)	< 75

Количественную оценку качественного показателя надежности водителя с точки зрения частоты зафиксированных нарушений ПДД РФ в 2020 году предложила Министерству юстиции рабочая группа при ОНФ РФ при помощи разработки индивидуального коэффициента риска (ИКР)[18]. Характеристика степени риска водителя в зависимости от ИКР представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Классификация водителей по величине ИКР [18]

№ п/п	Степень риска водителя	ИКР
1	«Нулевая» группа риска	0-5
2	«Низкая» группа риска	6-30
3	«Средняя» группа риска	31-100
4	«Высокая» группа риска	> 100

Также рабочей группой предлагались повышающие коэффициенты в зависимости от тяжести правонарушения (табл. 7).

Таблица 7 – Повышающие коэффициенты, соответствующие каждому виду административного или уголовного правонарушения [18]

№ п/п	Характеристика нарушения	Повышающий коэффициент
1	Низкая степень риска (определенная номенклатура статей КоАП)	1х
2	Средняя степень риска (определенная номенклатура статей КоАП)	3х
3	Высокая степень риска (определенная номенклатура статей КоАП)	10х
4	ДТП без пострадавших и погибших	30х
5	ДТП, сопряженное с причинением легкой или средней степени тяжести вреда здоровью	100х (3 года)
6	ДТП, сопряженное с причинением тяжкого вреда здоровью или смерти	300х (3 года после окончания срока уголовного преследования)

Величина ИКР будет рассчитываться следующим образом[15]:

$$ИКР = n_{\text{наруш}} K_{\text{пов}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{наруш}}$ – количество нарушений в течение календарного года, ед.;

$K_{\text{пов}}$ – повышающий коэффициент.

Однако данная система, которая так и не была принята имеет свои недостатки, т.к. она не учитывает фактическое время управления ТС в течение рассматриваемого периода. В противном случае, такая система будет рассматривать в числе «нулевой» группы риска также

водителей, которые в течение года ни разу не управляли ТС.

Что касается факторов «Среды», влияющих на надежность водителя, к наиболее значимым относятся вибрация, шум, температура внутри ТС, влажность, запыленность, видимость, слепящее Солнце, геомагнитная солнечная активность, атмосферное давление.

Вибрация негативно влияет на работоспособность водителя, т.к. приводит к быстрому утомлению и наиболее выражено это явление при управлении грузовыми ТС, с/х, строительными и дорожными машинами. Допустимые значения вибрации отражены в Приказе Минтруда России от 21.11.2023 № 817н. Такое же воздействие оказывает и повышенный уровень шума внутри ТС, дополнительно повышая возбудимость и раздражительность. Предельные значения уровня шума внутри салона/кабины ТС отражены в ГОСТ 33555-2022. Температура и влажность влияют на скорость утомления водителя, время его реакции и внимание. В отличие от предыдущих факторов, величину этих показателей возможно корректировать при помощи климатических систем ТС и/или одежды водителя. Допустимые параметры температуры и влажности внутри ТС отражены в ГОСТ Р 53828-2010. Запыленность, в зависимости от размеров твердых частиц, помимо нарушения в работе дыхательной системы отрицательно воздействует на органы зрения. Допустимые значения запыленности отражены в ГОСТ Р 53828-2010. Видимость подразделяется на 2 составные части: недостаточная и ограниченная. Если ограниченная видимость представляет собой более статичный показатель, то недостаточная, по причине метеорологических условий, соответственно, более динамична и требует систематической оценки. Одним из способов оценки недостаточной видимости является расчет метеорологической дальности видимости (МДВ). Предельное значение недостаточной видимости отражено в ПДД РФ и равняется 300 метрам. Солнцеопасным участкам посвящена работа [19], в которой автор предлагает оценивать этот показатель по величине снижения скорости движения ТС после ослепления водителя. Немаловажное значение имеет геомагнитная солнечная активность, избыточная величина которой приводит к магнитным бурям и отрицательно влияет на здоровье людей (в первую очередь – метеозависимых). В результате чего возникают головные боли, слабость, рассеивание внимания, перепады кровяного давления и т.д. Это связано с тем, что существенные колебания магнитного поля затормаживают кровоснабжение, что приводит к кислородному голоданию тканей [20]. Перепады атмосферного давления также негативно влияет на состояние здоровья человека, при которых повышенное давление наиболее остро ощущают люди, страдающие гипертонией, а пониженное – гипотонией. Аналогично возникает слабость, головные боли, повышается скорость утомления [21]. Стоит отметить, что на местности, в зависимости от ее расположения относительно уровня моря, формируется своя величина нормального атмосферного давления. Поэтому отрицательное воздействие влекут его перепады, относительно сформированной для конкретной местности величины для людей, адаптированных к этому нормальному значению.

Результаты и обсуждение

Отсюда возникает необходимость оценки каждого из вышеописанных показателей. Одним из самых распространенных способов является сравнение текущего значения показателя X с нормативным, т.е. выведение коэффициента:

$$K = \frac{X_{\text{факт}}}{X_{\text{норм}}}. \quad (3)$$

Следовательно, коэффициент реакции водителя будет рассчитываться для каждого набора ситуаций по отдельности:

$$K_p = \frac{t_{p.\text{факт}}}{t_{p.\text{безоп}}}, \quad (4)$$

где $t_{p.\text{факт}}$ – фактическое время реакции водителя, сек;

$t_{p.\text{безоп}}$ – безопасное время реакции водителя для конкретной ситуации, сек.

Коэффициент КГР водителя будет рассчитываться с учетом факторов, отраженных в таблице 1, как:

$$K_{\text{КГР}} = \frac{K_{\text{ГР.факт}}}{K_{\text{ГР.крит}}}, \quad (5)$$

где $KGP_{факт}$ – фактическое значение КГР водителя, сек;

$KGP_{крит}$ – предельное значение КГР водителя, сек.

Определение максимально допустимого значения ЧСС ($ЧСС_{max}$), в частности, для спортсменов, определяется следующим образом:

$$ЧСС_{max} = 205,8 - (0,685 \cdot \text{«возраст»}). \quad (6)$$

Отсюда, коэффициент ЧСС водителя:

$$K_{ЧСС} = \frac{ЧСС_{факт}}{ЧСС_{max}} = \frac{ЧСС_{факт}}{205,8 - (0,685 \cdot \text{«возраст»})}. \quad (7)$$

Коэффициент температуры тела водителя:

$$K_t = \frac{t_{факт}}{t_{норм}} = \frac{t_{факт}}{36,6}. \quad (8)$$

Коэффициент артериального давления рассчитан с учетом принятия нормальной величины давления, как среднего значения «оптимального» и «нормального» уровня из таблицы 4:

$$K_{АД} = \begin{cases} \frac{САД_{факт}}{САД_{норм}} = \frac{САД_{факт}}{115} \\ \frac{ДАД_{факт}}{ДАД_{норм}} = \frac{ДАД_{факт}}{72,5} \end{cases}. \quad (9)$$

Коэффициент сатурации (K_{cam}) с учетом модели (1) рассчитывается, как:

$$K_{сат} = \frac{SpO_2_{факт}}{SpO_2_{норм}} = \frac{\frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb} 100}{95}. \quad (10)$$

Для уточнения модели (2) целесообразно ввести также повышающий коэффициент, исходя из нижнего предела безопасного времени управления автомобилем для водителей личного и коммерческого транспорта. В соответствии с проведенными опросами среднестатистический водитель на личном ТС тратит порядка 3 часов в сутки на управление им. Водитель, осуществляющий свою профессиональную деятельность по трудовому договору, в соответствии с нормами режима труда и отдыха, должен тратить 8 часов в день при 40-часовой рабочей неделе. Отсюда следует, что течение года среднестатистический водитель на личном ТС затрачивает на управление 1095 часов, а водитель коммерческого транспорта, работающий на полную ставку – 2085 часов, что будет являться нижним пределом «безопасного водителя». При делении этих значений на верхний предел «нулевой» группы риска, т.е. на «5» получается показатель нижнего предела «безопасного водителя», который равен 219 часам на 1 незначительное нарушение для водителей личного ТС, а для водителей коммерческого транспорта – 417 часам на 1 незначительное нарушение. Следовательно, повышающий коэффициент, исходя из нижнего предела безопасного времени управления автомобилем для водителей личного и коммерческого транспорта ($K_{пов.вр}$) будет определяться, как:

$$K_{пов.вр} = \frac{t_{ср.год.факт}}{219} \text{ или } \frac{t_{ср.год.факт}}{417}. \quad (11)$$

При добавлении $K_{пов.вр}$ в модель (2), она представляет следующий вид:

$$ИКР = n_{наруш} K_{пов} \frac{1}{K_{пов.вр}}. \quad (12)$$

Коэффициент вибрации ТС представляет собой отношение фактического L_{Aw, T_0} , определяемого в соответствии с моделью, утвержденной МИ ОБ.ИНТ-05.01-2018 к нормативному значению, в зависимости от класса условий труда и предельно допустимых значений ($L_{Aw, норм}$):

$$K_{L_{Aw}} = \frac{L_{Aw, T_0}}{L_{Aw, норм}} = \frac{10 \cdot \lg(\sum_{m=1}^M \frac{T_m}{T_0} 10^{0.1 \cdot L_{Aw, m}})}{L_{Aw, норм}}. \quad (13)$$

Коэффициент шума в салоне (кабине) ТС является отношением фактического значения L_{Aeq} , определяемого в соответствии с моделью, утвержденной ГОСТ 20444-2014 к нормативному значению ($L_{Aeq, норм}$):

$$K_{Aeq} = \frac{L_{Aeq}}{L_{Aeq, норм}} = \frac{101g \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_a(t)^2}{P_0^2} dt \right)}{L_{Aw, норм}}. \quad (14)$$

Если принять за оптимальный температурный режим интервал в 23-25° С в летний период и 20-22° С в зимний [22], то коэффициент температуры в салоне (кабине) ТС будет отношением фактической температуры ($t_{\text{внутр.факт}}$) к нормативной ($t_{\text{внутр.норм}}$):

$$K_{t_{\text{внутр}}} = \frac{t_{\text{внутр.факт}}}{t_{\text{внутр.норм}}}. \quad (15)$$

Оценка допустимого уровня влажности является отношением фактической влажности ($\varphi_{\text{внутр.факт}}$) к нормативной ($\varphi_{\text{внутр.норм}}$), которая составляет следующий интервал 40-60 % [22]:

$$K_{\varphi_{\text{внутр}}} = \frac{\varphi_{\text{внутр.факт}}}{\varphi_{\text{внутр.норм}}}. \quad (16)$$

Коэффициент запыленности в салоне (кабине) ТС будет рассчитываться, как отношение фактического значения $ПДК_{\text{зап}}$ к нормативному значению ($ПДК_{\text{зап.норм}}$), определяемому в соответствии с ГОСТ Р 53828-2010:

$$K_{ПДК_{\text{зап}}} = \frac{ПДК_{\text{зап}}}{ПДК_{\text{зап.норм}}}. \quad (17)$$

Коэффициент метеорологической дальности видимости (K_{MOR}) представляется, как отношение фактического значения МДВ ($MOR_{\text{факт}}$), определяемого в соответствии с моделью, утвержденной РД 52.21.680-2006 к критическому ($MOR_{\text{крит}}$), которое равно 300 метрам:

$$K_{MOR} = \frac{MOR_{\text{факт}}}{MOR_{\text{крит}}} = \frac{l^{\frac{\ln 0,05}{\ln \tau}}}{300}, \quad (18)$$

где l – длина пути светового луча измерительного прибора, м;

0,05 – принятое значение нормального порога контрастной чувствительности глаза (ε);

τ – коэффициент пропускания атмосферы на пути измеренного светового луча длиной l .

Для определения коэффициента ограниченной видимости необходимо установить нормативное значение, которое исходя из п. 12.4 ПДД РФ равно 100 метрам и сравнить его с фактической дальностью видимости ($S_{\text{вид}}$), следовательно:

$$K_{\text{огр.вид}} = \frac{S_{\text{вид}}}{100}. \quad (19)$$

Коэффициент приемлемой величины геомагнитной солнечной активности по K -индексу - квазилогарифмическому индексу, значение которого определяется на основе данных конкретной обсерватории в течение трех часов и имеющий шкалу оценки от «0» до «9», можно определить на основе сравнения фактического K -индекса ($K\text{-индекс}_{\text{факт}}$), величина которого определяется на основе расчета DST-индекса с нормативным ($K\text{-индекс}_{\text{норм}}$) [23], равным величине «4».

$$K_{K\text{-индекс}} = \frac{K\text{-индекс}_{\text{факт}} \in Dst(t) = \frac{\sum_{i=1}^n (H_{\text{obs}_i}(t) - H_{\text{base}_i}(t) - S_{q_i}(t))}{\sum_{i=1}^n \cos \varphi_i} - D_q(t)}{K\text{-индекс}_{\text{норм}}}, \quad (20)$$

где n – число станций, по информации которых оценивается Dst -индекс;

$D_q(t)$ – среднее арифметическое 4-ех значений $D(t)$ по каждой станции, соответствующих таким периодам;

$H_{\text{obs}_i}(t)$ – значение Н-компоненты на i -ой станции в момент времени t ;

$H_{\text{base}_i}(t)$ – базовая линия для Н-компоненты на i -ой станции в момент времени t ;

$S_{q_i}(t)$ – спокойная солнечно-суточная вариация на i -ой станции в момент времени t ;

φ – дипольная широта i -ой станции.

Коэффициент влияния атмосферного давления на здоровье человека будет представлять собой отношение фактического атмосферного давления ($P_{\text{факт}}$) к нормальному для данной местности ($P_{\text{норм}}$) [24] с учетом его перепадов.

$$K_P = \frac{P_{\text{факт}}}{P_{\text{норм}}}. \quad (21)$$

Выводы

Таким образом, анализ влияния подсистемы «Водитель-Среда» показал ее существенное влияние на систему ВАДС в целом. Изучение отдельных факторов, влияющих на эту подсистему, выявило необходимость осуществления их количественной оценки. Самым распространенным способом достижения этой задачи, является сравнение текущего значения показателя с нормативным, т.е. выведение соответствующих коэффициентов.

В итоге были выведены следующие коэффициенты: времени реакции водителя (K_p), КГР ($K_{КТР}$), ЧСС ($K_{ЧСС}$), температуры тела водителя (K_t), артериального давления ($K_{АД}$), сатурации ($K_{сат}$), вибрации ($K_{L_{АВ}}$), шума внутри ТС ($K_{Аeq}$), температуры внутри ТС ($K_{t_{внутр}}$), влажности внутри ТС ($K_{\phi_{внутр}}$), запыленности внутри ТС ($K_{ПДК_{зап}}$), МДВ ($K_{МДВ}$), ограниченной видимости ($K_{огр.вид}$), геомагнитной солнечной активности ($K_{К-индекс}$), влияния атмосферного давления на водителя (K_p). Также введен повышающий коэффициент, исходя из нижнего предела безопасного времени управления автомобилем для водителей личного и коммерческого транспорта ($K_{пов.вр}$) для уточнения индивидуального коэффициента риска ($ИКР$).

Для более точной оценки влияния каждого из элементов системы ВАДС необходимо провести аналогичную оценку по «Автомобилю» и «Дороге» с последующей их систематизацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Davis B., Kairatolla A., Almagul B. Driver's reliability and its effect on road traffic safety // Procedia Computer Science. 2019. Vol. 149. P. 463-466.
2. Lina S.V., Michael J.B. Toward a greater understanding of Colombian professional truck drivers' safety performance // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 2020. Vol. 73. P. 188-204.
3. Navid G., Ennia A., Valeria V. Road Safety Review update by using innovative technologies to investigate driver behavior // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 45. P. 368-375.
4. Басков В.Н., Исаева Е.И. Информационно-цифровой подход к оценке уровня безопасности дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-2(78). С. 46-55.
5. Сайдуллозода С.С., Гаврилов К.В., Умирзиков А.М., Уланов А.Г. Оценка эффективности функционирования системы водитель-автомобиль-дорога-среда по энергетическим показателям // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2021. Т. 21. №4. С. 61-70.
6. Кузнецов Ю.А. Восприятие времени водителем как фактор безопасности дорожного движения // Психология. Психофизиология. 2020. Т. 13. №3. С. 102-110.
7. Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е. Свойства водителя и их влияние на безопасность движения транспортных средств // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. №1(98). С. 34-42.
8. Печатнова Е.В., Новиков И.А., Павлов С.Н., Еськов А.В. Частотная оценка характеристик водителя при наездах на пешехода // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-2(85). С. 98-106.
9. Seunghoon Park, Dongwon Ko. A Multilevel Model Approach for Investigating Individual Accident Characteristics and Neighborhood Environment Characteristics Affecting Pedestrian-Vehicle Crashes // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. №17. 3107.
10. Дорохин С.В., Рудь В.А. Роль инновационных систем регулирования дорожного движения в транспортной инфраструктуре мегаполисов РФ // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №4-2(87). С. 122-127.
11. Кольчурин А.Г. Определение времени реакции водителя при расследовании дорожно-транспортных преступлений // Общество и право. 2016. №4(58). С. 128-130.
12. способ контроля уровня бодрствования водителя транспортного средства в рейсе: Пат. 2771082 С1 Рос. Федерация. № 2021136726 / В.Е. Андреев, В.В. Бонч-Бруевич, В.В. Дементенко, А.С. Кремез; заявл. 13.12.21; опубл. 26.04.22.
13. Большев А.С., Сидоров Д.Г., Овчинников С.А. Частота сердечных сокращений. Физиолого-педагогические аспекты: Учебное пособие. Н.Новгород: ННГАСУ, 2017. 76 с.
14. Денисенко А.Г. Расстройство здоровья и смерть от действия крайних температур: Методические рекомендации. Витебск: ВГМУ, 2018. 32 с.
15. Люсов В.А., Харченко В.И., Мишнев О.Д. [и др.] Целесообразность модификации классификации артериальной гипертензии по уровням АД на основе научно-обоснованных данных // Российский кардиологический журнал. 2007. Т. 12. №6. С. 6-21.
16. Компьютерная пульсоксиметрия в диагностике нарушений дыхания во сне: Учебное пособие / Р.В. Бузунов, И.Л. Иванова, Ю.Н. Кононов и др. Ижевск, 2013. 40 с.
17. Дыхательная недостаточность. Легочное сердце: Учебно-методическое пособие к практическим за-

нениям и самостоятельной подготовке по "Внутренним болезням" / В.Ф. Жданов, В.А. Александрин, Ж.С. Савицкая [и др]. Санкт-Петербург: РИЦ ПСПбГМУ, 2019. 54 с.

18. Водителей разделят на плохих и хороших [Электронный ресурс] / Autonews.ru: [сайт]. 2020. URL: <https://www.autonews.ru/news/5e4f75529a7947adca2b2a15?ysclid=m5wezclhvz440955955>.

19. Пегин П.А. Исследование характеристик транспортного потока на солнцепасных участках автомобильной дороги // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2010. №2(17). С. 141-146.

20. Щетинина С.Ю., Юдичева Н.В. Влияние геомагнитной активности на состояние здоровья человека // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. №5-1(56). С. 167-169.

21. Аскерова А.А., Храпов П.В. Анализ комфортности регионов мира для метеозависимых людей // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7. №9. С. 46-57.

22. Якунин И.Н. Оценка влияния высоких температур окружающей среды на безопасность дорожного движения: дис. ... канд. техн. наук, 2024. 146 с.

23. Мочалова А.В., Мочалов В.А., Мандрикова О.В. Анализ зависимости значений DST-индекса, рассчитанных с помощью трех методик, от уровня солнечной и геомагнитной активности // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2019. Т. 29. №4. С. 77-86.

24. Аскерова А.А., Храпов П.В. Анализ комфортности регионов мира для метеозависимых людей // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7. №9. С. 46-57.

Игнатов Антон Валерьевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

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

E-mail: camoxod1990@yandex.ru

Басков Владимир Николаевич

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Адрес: 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Д.т.н., доцент, профессор кафедры «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей»

E-mail: sedankin29@mail.ru

A.V. IGNATOV, V.N. BASKOV

EVALUATION OF IMPACT OF THE «DRIVER-ENVIRONMENT» SUBSYSTEM ON ROAD SAFETY

Abstract. *The article describes the influence of indicators of the subsystem «Driver-Environment» on the system «Driver-Automobile-Road-Environment». The factors allowing to estimate the state of reliability and reliability of the driver, such as: reaction time, skin-galvanic reaction, heart rate, body temperature, blood pressure, saturation are considered. Environmental factors affecting the driver's condition are also considered: microclimate inside the vehicle (vibration, noise, temperature, humidity, dustiness), meteorological visibility range, geomagnetic solar activity, atmospheric pressure. Their evaluation coefficients corresponding to each factor are derived. An increasing coefficient based on the lower limit of safe driving time for drivers of personal and commercial vehicles is proposed to clarify the individual risk coefficient. The conclusion is made about the need for further comprehensive study of the influence and assessment of the other elements of the system «Driver - Car - Road – Environment».*

Keywords: *road safety, driver, environment, failure, visibility, blood pressure, heart rate, geomagnetic solar activity*

BIBLIOGRAPHY

1. Davis B., Kairatolla A., Almagul B. Driver's reliability and its effect on road traffic safety // Procedia Computer Science. 2019. Vol. 149. P. 463-466.
2. Lina S.V., Michael J.B. Toward a greater understanding of Colombian professional truck drivers' safety performance // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 2020. Vol. 73. P. 188-204.
3. Navid G., Ennia A., Valeria V. Road Safety Review update by using innovative technologies to investigate driver behavior // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 45. P. 368-375.
4. Baskov V.N., Isaeva E.I. Informatsionno-tsifrovoy podkhod k otsenke urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-2(78). S. 46-55.

5. Saydullozoda S.S., Gavrilov K.V., Umirzokov A.M., Ulanov A.G. Otsenka effektivnosti funktsionirovaniya sistemy voditel'`-avtomobil'`-doroga-sreda po energeticheskim pokazatelyam // Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroyeniye. 2021. T. 21. №4. S. 61-70.
6. Kuznetsov YU.A. Vospriyatie vremeni voditelem kak faktor bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Psikhologiya. Psikhofiziologiya. 2020. T. 13. №3. S. 102-110.
7. Hristoforov E.N., Sakovich N.E. Svoystva voditelya i ikh vliyanie na bezopasnost' dvizheniya transportnykh sredstv // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2021. №1(98). S. 34-42.
8. Pechatnova E.V., Novikov I.A., Pavlov S.N., Es'kov A.V. Chastotnaya otsenka kharakteristik voditelya pri naezdakh na peshekhoda // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №2-2(85). S. 98-106.
9. Seunghoon Park, Dongwon Ko. A Multilevel Model Approach for Investigating Individual Accident Characteristics and Neighborhood Environment Characteristics Affecting Pedestrian-Vehicle Crashes // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. №17. 3107.
10. Dorokhin S.V., Rud' V.A. Rol' innovatsionnykh sistem regulirovaniya dorozhnogo dvizheniya v transportnoy infrastrukture megapolisov RF // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №4-2(87). S. 122-127.
11. Kol'churin A.G. Opredelenie vremeni reaktsii voditelya pri rassledovanii dorozhno-transportnykh prestupleniy // Obshchestvo i pravo. 2016. №4(58). S. 128-130.
12. sposob kontrolya urovnya bodrstvovaniya voditelya transportnogo sredstva v reyse: Pat. 2771082 C1 Ros. Federatsiya. № 2021136726 / V.E. Andreev, V.V. Bonch-Bruevich, V.V. Dementienko, A.S. Kremez; zayavl. 13.12.21; opubl. 26.04.22.
13. Bol'shev A.S., Sidorov D.G., Ovchinnikov S.A. Chastota serdechnykh sokrashcheniy. Fiziologopedagogicheskie aspekty: Uchebnoe posobie. N.Novgorod: NNGASU, 2017. 76 s.
14. Denisenko A.G. Rasstroystvo zdorov'ya i smert' ot deystviya kraynikh temperatur: Metodicheskie rekomendatsii. Vitebsk: VGMU, 2018. 32 s.
15. Lyusov V.A., Harchenko V.I., Mishnev O.D. [i dr.] Tselesoobraznost' modifikatsii klassifikatsii arterial'noy gipertenzii po urovniam AD na osnove nauchno-obosnovannykh dannyykh // Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal. 2007. T. 12. №6. S. 6-21.
16. Komp'yuternaya pul'soksimetriya v diagnostike narusheniy dykhaniya vo sne: Uchebnoe posobie / R.V. Buzunov, I.L. Ivanova, YU.N. Kononov i dr. Izhevsk, 2013. 40 s.
17. Dykhatel'naya nedostatochnost'. Legochnoe serdtse: Uchebno-metodicheskoe posobie k prakticheskim zanyatiyam i samostoyatel'noy podgotovke po "Vnutrennim boleznyam" / V.F. Zhdanov, V.A. Aleksandrin, ZH.S. Savitskaya [i dr]. Sankt-Peterburg: RITS PSPbGMU, 2019. 54 s.
18. Voditeley razdelyat na plokhikh i khoroshikh [Elektronnyy resurs] / Autonews.ru: [sayt]. 2020. URL: <https://www.autonews.ru/news/5e4f75529a7947adca2b2a15?ysclid=m5wezclhvz440955955>.
19. Pegin P.A. Issledovanie kharakteristik transportnogo potoka na solntseopasnykh uchastkakh avtomobil'noy dorogi // Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2010. №2(17). S. 141-146.
20. Shchetinina S.YU., YUdicheva N.V. Vliyanie geomagnitnoy aktivnosti na sostoyanie zdorov'ya cheloveka // Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2021. №5-1(56). S. 167-169.
21. Askerova A.A., Hrapov P.V. Analiz komfortnosti regionov mira dlya meteoavisimykh lyudey // International Journal of Open Information Technologies. 2019. T. 7. №9. S. 46-57.
22. YAkunin I.N. Otsenka vliyaniya vysokikh temperatur okruzhayushchey sredy na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: dis. ... kand. tekhn. nauk, 2024. 146 s.
23. Mochalova A.V., Mochalov V.A., Mandrikova O.V. Analiz zavisimosti znacheniy DST-indeksha, rasschitannykh s pomoshch'yu trekh metodik, ot urovnya solnechnoy i geomagnitnoy aktivnosti // Vestnik KRAUNTS. Fiziko-matematicheskie nauki. 2019. T. 29. №4. S. 77-86.
24. Askerova A.A., Hrapov P.V. Analiz komfortnosti regionov mira dlya meteoavisimykh lyudey // International Journal of Open Information Technologies. 2019. T. 7. №9. S. 46-57.

Ignatov Anton Valeryevich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
 Adress: 190005, Russia, St Petersburg, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., 4
 Candidate of Technical Sciences
 E-mail: camoxod1990@yandex.ru

Baskov Vladimir Nikolaevich

State Technical University of Saratov
 Adress: 410054, Russia, Saratov, Politechnicheskaya str., 77
 Doctor of Technical Sciences
 E-mail: sedankin29@mail.ru

УДК 629.3.08

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-105-112

Е.А. ВЕРИТЕЛЬНИК, А.В. КАЛИНИН

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация. Рассматриваются возможности применения нейронных сетей Chatgpt и Deepseek при определении неисправностей автомобиля в симуляторе Electude Simulator Challenge. Показаны особенности работы каждой из сетей. В результате обе нейронные сети достигли цели и установили причину неисправности автомобиля.

Ключевые слова: нейронная сеть, диагностика, электрическая схема, модель, симулятор, сканер, код неисправности

Введение

В настоящее время наблюдается активная эволюция нейронных сетей и их применение для повышения эффективности любого вида деятельности.

Все больше отраслей задействуют этот инструмент в решении самых различных задач: диагностике целых технических систем [1], автоматизации оценки состояния отдельных элементов [2], анализе качества воды [3], диагностике кибератак [4], защите автомобильных сетей от DDoS атак [5], детектировании атак на подключаемые автомобили [6], распознавании транспортных средств автономными автомобилями [7]. Перспективы применения ChatGPT и других ИИ-инструментов в таких отраслях как медицина уже не вызывают возражений. Их применяют при дифференциальной диагностике различных заболеваний на основе клинических данных и при постановке диагнозов [8]. Однако при всех своих достоинствах они не лишены и недостатков: они всегда дают ответ, даже когда этот ответ неверный, им присущи «галлюцинации» и «фантазии» [9].

Однако, успешное развитие таких программ в различных отраслях промышленности и областях науки доказывает перспективность применения их и в области эксплуатации автомобильного транспорта. В связи с этим, интерес представляет возможность решения задачи диагностирования неисправностей автомобиля, требующей как правило высокой квалификации и опыта от мастера-диагноста.

Материал и методы

Для проверки возможностей поиска неисправностей автомобиля были выбраны две наиболее популярные нейронные сети: ChatGPT [10] и Deepseek [11].

В качестве опытного образца автомобиля был использован симулятор неисправностей Electude Simulator Challenge [12]. Симулятор представляет из себя виртуальную модель автомобиля с инжекторным 4-х цилиндровым двигателем, эмулирующую все системы, отвечающие за работу ДВС. Модель позволяет подключать, отключать, проверять работоспособность всех деталей и соединительных проводов. В симуляторе доступно основное диагностическое оборудование: сканер, осциллограф, мультиметр, манометр, контрольно-коммуникационный промежуточный блок. Также имеется электрическая схема подключения элементов.

Эксперимент предполагал диалог с нейронными сетями, им была поставлена задача в виде исходной формулировки: «Представь, что ты автодиагност, помоги найти неисправность в легковом автомобиле с бензиновым двигателем. Есть возможность подключить диагностическое оборудование, если надо что-то подключить скажи, задавай при необходимости вопросы. Двигатель не заводится, как найти неисправность?». Далее в соответствии с шагами, предложенными нейронными сетями, проводились диагностические воздействия и измерения и полученная информация загружалась в сеть. Диалог велся в текстовом режиме.

Теория / Расчет

При старте программы Electude Simulator Challenge открывается окно с автомобилем (рис 1 а) и заказ-нарядом, описывающим проблему автомобиля (жалобу клиента, рис. 1 б). Необходимо, используя минимальное количество доступных инструментов, времени и замененных запасных частей, устранить неисправность. Неисправности в симуляторе всегда разные и делятся на три уровня сложности. Данный симулятор достаточно адекватно описывает работу бензинового двигателя и используется не только для обучения студентов в отечественных ВУЗах [13], но и за рубежом [14], а также для повышения квалификации практикующих электриков и автодиагностов [15].



а

Заказ-наряд	
Дата	28.04.2025
VIN	XJ29145UE76403748
Механик	Денис
Описание жалобы	
<p>Доброе утро! Показать на уровень 1. Двигатель не работает. Заполните этот заказ-наряд, когда закончите. Выделите из симулятора, нажав на стрелку в верхнем правом углу.</p>	
Проведенные операции и принятые решения	
<div>Контрольный список</div> <div> <input type="checkbox"/> Неисправность устранена <input type="checkbox"/> Автомобиль готов к работе <input type="checkbox"/> Документированная работа выполнена </div> <div>Вернуть автомобиль клиенту</div>	
Заключительная проверка	
<p>Оставьте поле пустым, оно будет заполнено при одобрении мастерской</p>	

б

Рисунок 1- Начальное окно программы Electude simulator challenge

Первый ответ от ChatGPT включал: краткий перечень систем автомобиля, из-за которых возможна проблема, шаг 1 – быстрая проверка (без сканера, рис. 2 а), шаг 2 – подключение сканера (рис. 2 б), наводящие вопросы.

На этот же запрос Deepseek предложил более развернутый план, состоящий из шести пунктов: первичный осмотр, диагностика со сканером, проверка системы зажигания, проверка топливной системы, проверка компрессии, дополнительные проверки.

Далее был подключен сканер, который показал код неисправности P0231 – «Низкий уровень напряжения на вторичном контуре топливного насоса». Обе сети дали перечни возможных причин (рис. 3).

На вопрос дальнейших пошаговых действий обе сети дали пошаговые рекомендации по проверке элементов электрической цепи (рис. 4). ChatGPT разбил проверку на четыре шага, в каждом указывая действия по проверке сначала предохранителя, потом реле топливного насоса, затем проверки цепи питания и массы. Нужно отметить удобство подачи информации – все шаги отделены друг от друга, действия на каждом шаге описаны кратко и понятно. Например, проверка предохранителя включала три пункта:

- Найди в блоке предохранителей нужный (обычно в отсеке или сбоку панели).
- Проверь визуально или мультиметром (прозвонить/тест на сопротивление).
- Если сгорел – замени, но, если сгорит снова – не запускай повторно, а ищем короткое замыкание.

ШАГ 1: Базовая проверка (без сканера)

Пока без подключения сканера, уточни, пожалуйста:

1. Крутит ли стартер?
 - Да / Нет
 - Если крутит, то с какой скоростью — нормально или медленно?
2. Есть ли запах бензина из выхлопной трубы после нескольких попыток запуска?
 - Это даст понять, подаётся ли топливо.
3. Есть ли искра на свечах?
 - Сможешь проверить, выкрутив свечу, подключив к проводу зажигания и прикасаясь резьбой к "массе", пока кто-то крутит стартер?
4. Какая лампочка горит/моргает на панели при включении зажигания?
 - Особенно важна лампа Check Engine и индикатор иммобилайзера (брелка/ключа).

а

ШАГ 2: Подключение диагностического сканера

Если есть доступ к OBD2-сканеру:

1. Подключи сканер и скажи, есть ли ошибки (DTC-коды).
 - Особенно интересуют ошибки по:
 - Датчику положения коленвала (CKP)
 - Датчику распредвала (CMP)
 - Иммобилайзеру
 - Системе зажигания/впрыска


б

Рисунок 2 - Первый ответ ChatGPT

Причины ошибки P0231:

- Неисправное реле топливного насоса
- Плохой контакт / обрыв / коррозия в проводке от реле к насосу
- Слабое питание или плохая масса у насоса
- Сгоревший сам насос
- Плавкая вставка / предохранитель перегорел
- Неисправен модуль управления насосом (если он есть — зависит от авто)

а

 Ошибка **P0231** указывает на проблему с напряжением в цепи бензонасоса (низкий уровень во вторичной цепи). Это может быть вызвано:

- Неисправностью бензонасоса (износ, заклинивание).
- Проблемами с проводкой (обрыв, плохой контакт, коррозия).
- Неисправностью реле бензонасоса.
- Проблемами с предохранителем.
- Недостаточным напряжением от АКБ или генератора.

б

Рисунок 3 - Перечень причин ошибки P0231 по мнению нейронных сетей:

а – ChatGPT; *б* - Deepseek

Четвертым шагом было предложено подать питание на насос напрямую, чтобы убедиться непосредственно в исправности насоса. Тут же ChatGPT выдал краткую дополнительную информацию касательно некоторых конкретных марок, что причиной у японских марок автомобилей, таких как Mazda или Honda, может быть коррозия массы на кузове, а у таких авто как VW, Opel, BMW насос управляется отдельным модулем топливного насоса и в нем может быть сгоревшая силовая цепь. Для дальнейшей диагностики нейронная сеть рекомендовала указать модель и год выпуска автомобиля и написать результаты пошаговой проверки.



Рисунок 4 – Проверка электрических цепей мультиметром

Deepseek после указания кода неисправности разбил проверку на семь шагов:

- Проверить давление топлива
- Проверить работу бензонасоса на слух
- Проверить предохранитель и реле бензонасоса
- Проверить напряжение на бензонасосе
- Проверить массу на бензонасосе
- Проверить сам бензонасос
- Проверить топливный фильтр (если насос работает, но давление слабое)

С одной стороны перечень более расширенный и подробный, а с другой – не все шаги доступно описаны. Если, например, при проверке предохранителя мультиметром указано, что должен быть контакт, то критерии оценки состояния топливного фильтра не указаны.

Результаты всех запрашиваемых действий, предлагаемых сетями, которые доступны в симуляторе, были в них загружены: давление в топливной рампе оказалось равно нулю, предохранитель показал наличие контакта, масса тоже была работоспособной.

Далее, для оценки возможности работы с графической информацией обеим нейронным сетям была загружена электрическая схема (рис. 5).

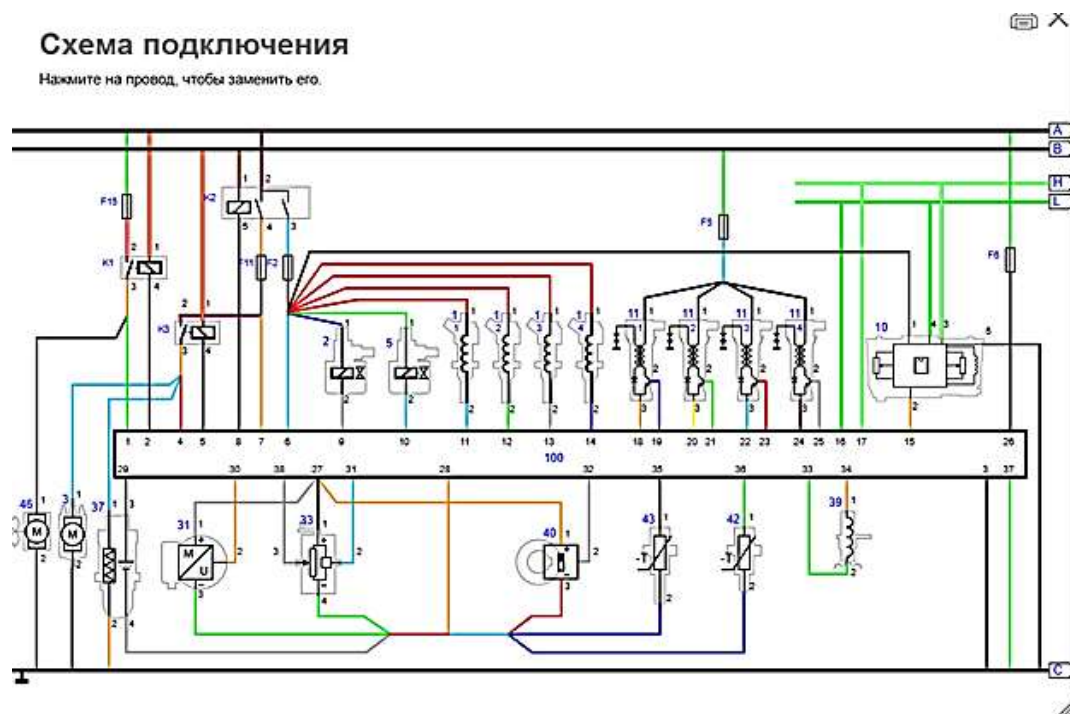


Рисунок 5 - Электрическая схема подключения

ChatGPT на схеме сразу правильно распознал некоторые элементы цепи питания бензонасоса. Далее был предложен обновленный план проверки с указанием конкретных элементов, с учетом обозначений на схеме. Так, было верно определено, что питание приходит через предохранитель F11 и насос включается реле K3. Также сеть нашла и правильно указала обозначение массы. Однако, при указании порядка проверки реле бензонасоса, ChatGPT неверно определил назначение контактов реле, неправильно определив их нумерацию и количество. Дальнейшие выводы о подключении элементов слабо коррелируются с представленной схемой, и при отсутствии навыка чтения электрических схем не позволят исполнителю провести диагностику корректно, (например, предложение соединить контакты 1 и 3 у реле K3).

Deepseek не смог в электрической схеме подключения идентифицировать необходимые элементы и повторно выдал свои рекомендации по проверке элементов но уже с выдуманными номерами контактов. Однако, попросил еще раз проверить состояние насоса и фильтров, результаты замеров и модель авто для поиска точной схемы.

Далее в нейронные сети была загружена информация о том, что масса на насосе присутствует, а питание при включенном зажигании отсутствует. ChatGPT следующим шагом предложил проверить наличие управляющего сигнала от электронного блока управления (ЭБУ), свел все возможные сценарии в таблицу по столбцам (таблица 1). Далее он попросил проверить еще раз питание и масса на контактах 1 и 3 соответственно, а также рекомендация прозвонить обмотку реле. Deepseek тоже предложил пошаговую проверку реле, проверив управляющие и силовые контакты как мультиметром так и подачей +12V напрямую, имитируя управление, а также наличие сигнала от ЭБУ.

Проверка мультиметром показала наличие питания и массы, также было измерено сопротивление обмотки реле – оно составило 45 Ом. Эта информация была передана в нейронные сети. ChatGPT сделал вывод, что реле не работает, предложил проверить замкнув напрямую силовые контакты на 1-2 секунды, послушать шум насоса и заменить реле. Что важно, в случае отсутствия реакции топливного насоса указал на возможный обрыв провода между реле и насосом. Deepseek тоже сделал вывод о том, что неисправно реле, указав, что оно может иногда срабатывать даже будучи неисправным. И помимо замены или ремонта реле предложил измерить силу тока в цепи управления для исключения перегрузки ЭБУ.

Также указал о необходимости проверки участка цепи между реле и насосом в случае, если проблема осталась.

Таблица 1 – Возможные сценарии при проверке реле по версии ChatGPT

Управление реле	Что происходит	Причина
Есть масса/сигнал – реле не щелкает	Реле неисправно	Меняй реле
Нет сигнала на обмотку	ЭБУ не активирует насос	Ошибка иммобилайзера, сбой датчиков, ошибка P0231
Есть сигнал, реле щелкает, но нет питания	Контакты внутри реле подгорели	Меняй реле
Все работает, но насос не гудит	Насос неисправен	Замена насоса

Далее была выполнена замена реле управления бензонасосом после чего двигатель успешно запустился.

Результаты и обсуждение

Выполнение рекомендаций каждой из сетей позволило в обоих случаях локализовать неисправность и в итоге определить отказавший элемент – реле бензонасоса. Успешное решение задачи поиска относительно несложных неисправностей под силу даже необученным на специальном обучающем материале нейронным сетям. Слабым местом таких инструментов оказалась работа с графической информацией (схема подключения), необдуманное следование рекомендациям по ней не могло дать правильного результата. В случае с Deepseek в принципе было невозможно выполнить его рекомендации.

Выводы

Обе сети оказались способны помочь в поиске неисправности. Обе давали полный перечень возможных причин, способы проверки и устранения. Возможно, лучший результат может быть, если указать конкретную марку автомобиля, обе сети просили это указать. Также симулятор не позволил выполнить дополнительные запросы по поводу запаха бензина или жужжания насоса, что в теории тоже могло стать источником дополнительной диагностической информации, но это больше относится к субъективной информации и в случае реальной ситуации, при отсутствии опыта может скорее запутать и сеть, и сотрудника. Поэтому в перспективе это необходимо учитывать.

Применение нейронных сетей, даже таких универсальных как ChatGPT и Deepseek, позволит облегчить процесс диагностирования неисправностей автомобиля. Однако, на современном этапе нейронные сети – это только хороший помощник специалиста, без базовых знаний по устройству и принципу работы основных узлов и автомобиля в целом необходимо критически оценивать получаемую от нейронной сети информацию перед применением. Дальнейшие перспективы должны быть направлены на специализированное дообучение сетей, это сократит количество ошибок и повысит точность и скорость диагностики. Особенно большой потенциал применения нейронных сетей для определения неисправностей мог бы быть использован в дилерских центрах отечественных производителей, таких как АвтоВАЗ, в связи с относительно простой типовой конструкцией двигателей и большим количеством доступных для сбора диагностической информации автомобилей, а следовательно – большой обучающей выборкой. Внедрение такой технологии в сервисных центрах АвтоВАЗа позволит в перспективе улучшить скорость и качество выполнения ремонтных работ, и как следствие повысить конкурентные преимущества автомобилей Лада по эксплуатационным характеристикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А.А., Цибизов Е.П., Бадеева Е.А., Колдов А.С. Диагностика неисправностей технических объектов с использованием нейронных сетей // Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты: Сборник трудов Национальной научно-практической конференции. Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского. 2023. С. 289-294. EDN RFGEVH.

2. Бойко С.Н., Волканин Е.Е., Городний А.Н. [и др.]. Применение нейронных сетей при автоматизации диагностики состояния авиационного генератора вертолета // Технические науки и технологии. 2018. №3(13). С. 152-160. EDN VQMMJQ.
3. Ladjal M., Bouamar M., Djerioui M., and Brik Y. Performance Evaluation of ANN and SVM Multiclass Models for Intelligent Water Quality Classification Using Dempster-Shafer Theory // International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT). Tangier. 2016. P. 191-196.
4. Dallali A., Omrani T., Rhaimi B.C. Evidence Theory Data Fusion-Based Method for Cyber-Attack Detection // 4th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP). 2018. Sousse. 1–4
5. Kushwah N., Sonker A. Malicious Node Detection on Vehicular Ad-Hoc Network Using Dempster Shafer Theory for Denial of Services Attack // 8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN). 2016.Tehri.P. 432-436.
6. Zhang C., Chen K., Zeng X., and Xue X. Misbehavior Detection Based on Support Vector Machine and Dempster-Shafer Theory of Evidence in VANETs // IEEE Access. 2018. 6:59860–59870.
7. Li J., Dong S., Yu Z. et al. Event-Based Vision Enhanced: A Joint Detection Framework in Autonomous Driving // IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME). 2019. Shanghai. P. 1396-1401.
8. C. Schukow, S. Ch. Smith, E. Landgrebe [et al.]. Application of ChatGPT in Routine Diagnostic Pathology: Promises, Pitfalls, and Potential Future Directions // Advances in Anatomic Pathology. 2024. Vol. 31. №1. P. 15-21. DOI 10.1097/pap.0000000000000406. EDN SIZIOU.
9. Venne J.F. Diagnostic – ChatGPT au travail, entre promesses et menaces // Gestion. 2023. Vol. 48. №3. P. 111-114. DOI 10.3917/riges.483.0111. EDN TRQNQQ.
10. ChatGPT [Электронный ресурс]. AI-чатбот на основе искусственного интеллекта. URL: <https://chatgpt.com>.
11. DeepSeek Chat [Электронный ресурс]. AI-ассистент. URL: <https://chat.deepseek.com>.
12. Electude Simulator [Электронный ресурс]. Интерактивный симулятор для обучения авторемонту. URL: <https://simulator.electude.com/game>.
13. Малахов А.Ю. Симулятор диагностики автомобиля Electude simulator // Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли. 2024. №2(11). С. 28-39. EDN VESWNE.
14. Contreras Salazar C.D., Ticona Larico W., Farfan Diaz R.Y. [et al.]. El Simulator Electude con el E-learning en los docentes de Mecánica Automotriz 2021 // Alpha Centauri. 2022. Vol. 3. №3. P. 255-257. DOI 10.47422/ac.v3i3.121. EDN KCCKPJ.
15. Ременцов А.Н., Фадеев И.В., Тончева Н.Н., Самсонов А.Н. Совершенствование технологии преподавания технических дисциплин в условиях дистанционного обучения // Ученые записки Орловского государственного университета. 2021. №4(93). С. 251-255. EDN MNQOCW.

Верительник Евгений Анатольевич

Луганский государственный университет им. В.Даля

Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а

К.т.н., зав. кафедрой информационных технологий и транспорта

E-mail: jenver@yandex.ru

Калинин Александр Владимирович

Луганский государственный университет им.В.Даля

Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а

Старший преподаватель информационных технологий и транспорта

E-mail: alex.asimo@yandex.com

E.A. VERITELNIK, A.V. KALININ

USING NEURAL NETWORKS FOR VEHICLE FAULT DIAGNOSTICS

Abstract. *The study explores the application of ChatGPT and DeepSeek neural networks in diagnosing automotive faults using the Electude Simulator Challenge environment. The paper analyzes the distinct operational characteristics of each AI model during fault identification. Despite differences in their approaches, both neural networks successfully achieved the diagnostic objective by determining the root cause of the vehicle malfunction.*

Keywords: *neural network, diagnostic, electrical circuit, model, simulator, scanner, diagnostic trouble code*

BIBLIOGRAPHY

1. Antonov A.A., Tsibizov E.P., Badeeva E.A., Koldov A.S. Diagnostika neispravnostey tekhnicheskikh ob"ektov s ispol'zovaniem neyronnykh setey // Fundamental'nye, poiskovy, prikladnye issledovaniya i innovatsionnye proekty: Sbornik trudov Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moskva: Assotsiatsiya vypusnikov i sotrudnikov VVIA im. professora N.E. ZHukovskogo sodeystviya sokhraneniya istoricheskogo i nauchnogo naslediya VVIA im. professora N.E. ZHukovskogo. 2023. S. 289-294. EDN RFGE BH.
2. Boyko S.N., Volkanin E.E., Gorodniy A.N. [i dr.]. Primenenie neyronnykh setey pri avtomatizatsii diagnostiki sostoyaniya aviatsionnogo generatora vertoleta // Tekhnicheskie nauki i tekhnologii. 2018. №3(13). S. 152-160. EDN VQMMJQ.
3. Ladjal M., Bouamar M., Djerioui M., and Brik Y. Performance Evaluation of ANN and SVM Multiclass Models for Intelligent Water Quality Classification Using Dempster-Shafer Theory // International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT). Tangier. 2016. R. 191-196.
4. Dallali A., Omrani T., Rhaimi B.C. Evidence Theory Data Fusion-Based Method for Cyber-Attack Detection // 4th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP). 2018. Sousse. 1-4
5. Kushwah N., Sonker A. Malicious Node Detection on Vehicular Ad-Hoc Network Using Dempster Shafer Theory for Denial of Services Attack // 8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN). 2016. Tehri. R. 432-436.
6. Zhang C., Chen K., Zeng X., and Xue X. Misbehavior Detection Based on Support Vector Machine and Dempster-Shafer Theory of Evidence in VANETs // IEEE Access. 2018. 6:59860-59870.
7. Li J., Dong S., Yu Z. et al. Event-Based Vision Enhanced: A Joint Detection Framework in Autonomous Driving // IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME). 2019. Shanghai. R. 1396-1401.
8. C. Schukow, S. Ch. Smith, E. Landgrebe [et al.]. Application of ChatGPT in Routine Diagnostic Pathology: Promises, Pitfalls, and Potential Future Directions // Advances in Anatomic Pathology. 2024. Vol. 31. №1. P. 15-21. DOI 10.1097/pap.0000000000000406. EDN SIZIOU.
9. Venne J.F. Diagnostic - ChatGPT au travail, entre promesses et menaces // Gestion. 2023. Vol. 48. №3. P. 111-114. DOI 10.3917/rges.483.0111. EDN TRQNQQ.
10. ChatGPT [Elektronnyy resurs]. AI-chatbot na osnove iskusstvennogo intellekta. URL: <https://chatgpt.com>.
11. DeepSeek Chat [Elektronnyy resurs]. AI-assistent. URL: <https://chat.deepseek.com>.
12. Electude Simulator [Elektronnyy resurs]. Interaktivnyy simulyator dlya obucheniya avtoremontu. URL: <https://simulator.electude.com/game>.
13. Malakhov A.YU. Simulyator diagnostiki avtomobilya Electude simulator // Problemy ekspertizy v avtomobil'no-dorozhnoy otrasli. 2024. №2(11). S. 28-39. EDN VESWNE.
14. Contreras Salazar C.D., Ticona Larico W., Farfan Diaz R.Y. [et al.]. El Simulator Electude con el E-learning en los docentes de Mec?nica Automotriz 2021 // Alpha Centauri. 2022. Vol. 3. №3. P. 255-257. DOI 10.47422/ac.v3i3.121. EDN KCCKPJ.
15. Rementsov A.N., Fadeev I.V., Toncheva N.N., Samsonov A.N. Sovershenstvovanie tekhnologii prepodavaniya tekhnicheskikh distsiplin v usloviyakh distantsionnogo obucheniya // Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. 2021. №4(93). S. 251-255. EDN MNQOCW.

Veritelnik Evgeniy Anatolyevich

Lugansk State University
Address: 291034, Russia, Lugansk, Molodezhny apt., 20a
Candidate of Technical Sciences
E-mail: jenver@yandex.ru

Kalinin Alexander Vladimirovich

Lugansk State University
Address: 291034, Russia, Lugansk, Molodezhny apt., 20a
Senior Lecturer in Information Technology and Transport
E-mail: alex.asimo@yandex.com

УДК 656.13

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-113-119

Ю.А. ЗАЯЦ, Р.В. ПЕТУХОВ

УСЕЧЕНИЕ СПЕКТРА НАГРУЗОК (ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ) ПРИ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Представлено решение актуальной задачи сокращения сроков проведения испытаний автомобильной техники. Этапы решения задачи связаны с выбором прототипа, исследуемых структурных параметров, определяющих надежность, выбором эксплуатационных режимов, определяющих коэффициент ускорения. Разработана математическая модель и дан пример расчета коэффициента ускорения.

Ключевые слова: ускоренные испытания, форсированные испытания, усечение спектра нагрузок, эксплуатационный режим, условия испытаний

Введение

Актуальность научных исследований в области проведения испытаний автомобильной техники, в том числе военной, определяется необходимостью снижения затрат и, главное, сроков проведения этих испытаний. Особую роль играют ускоренные испытания, при которых методы и условия проведения обеспечивают получение необходимого объема информации в более короткий срок. В соответствии с руководящими документами ускоренные испытания разделяют на сокращенные и форсированные. Форсированными называются ускоренные испытания, основанные на интенсификации процессов, вызывающих отказы или повреждения. При форсированных испытаниях проводится преднамеренное увеличение скорости утраты работоспособности изделия.

Несмотря на эффективность форсированных испытаний, все же предпочтение отдают сокращенным. Это связано с целым рядом причин, главной из которой является то, что ускорение испытаний происходит в нормальном режиме за счет уплотнения циклов или с использованием экстраполяционных методов. Они проходят без интенсификации процессов, вызывающих отказы или повреждения, а уменьшение сроков получения показателей надежности достигается за счет прогнозирования поведения объекта испытаний на период, больший чем продолжительность испытаний.

При разработке ускоренных испытаний для конкретного вида изделий необходимо в первую очередь установить принцип ускоренных испытаний. Под принципом понимается совокупность теоретических и экспериментально обоснованных закономерностей или допущений, на использовании которых основано проведение испытаний с сокращением их продолжительности. Затем на основании сформулированного принципа выбрать метод и режим ускоренных испытаний. Под методом ускоренных испытаний понимается совокупность правил применения принципов ускоренных испытаний для получения показателей надежности определенных групп или видов изделий. Режим ускоренных испытаний – режим, предусмотренный применяемым принципом и методом ускоренных испытаний и обеспечивающий сокращение продолжительности испытаний [1].

Вопросам приведения условий проведения испытаний реальным условиям эксплуатации посвящены работы Устименко В.С. [2, 3], а также работа авторов [4] по результатам испытаний в арктических условиях.

В данной работе рассмотрим один из перспективных методов проведения форсированных испытаний автомобильной техники, базирующийся на принципе усечения спектра нагрузок, который предполагает предварительное определение коэффициента пересчета.

Материал и методы

В качестве научной гипотезы и теоретических предпосылок исследования примем теорию прогнозирования технического состояния транспортных средств. Рассматривая прогнозирование технического состояния и остаточного ресурса как процесс моделирования, авторами работ [5, 6] дана классификация подходов к моделированию.

Применение теории прогнозирования в системе управления эксплуатационной надежностью представлено в работах [7-9].

Теория прогнозирования остаточного ресурса, основанная на эксплуатационных режимах и описанную авторами в работах [10, 11].

Применение практических методов прогнозирования описано в работах [12-14].

Теоретические предпосылки получения коэффициентов влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров описывалось ранее авторами в работах [13] и в данной статье на этом останавливаться не имеет смысла.

В качестве исходных данных при проведении исследования принимаем:

- автомобили оборудованы всеми типами датчиков, необходимыми для регистрации эксплуатационных режимов элементов, агрегатов и систем автомобиля;
- автомобиль оборудован устройством считывания, обработки и хранения цифровых данных поступающих с бортовых датчиков по стандартному протоколу шины CAN;
- для типовых конструкций элементов, агрегатов и систем испытуемого автомобиля известны коэффициенты влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров, определяющих надежность автомобиля.

Согласно методу, изменение m -го структурного параметра, определяется по формуле:

$$b_m = r_{m1} \cdot k_{m1} + r_{m2} \cdot k_{m2} + \dots + r_{mn} \cdot k_{mn} = \sum_{i=1}^n r_{mi} \cdot k_{mi}, \quad (1)$$

где r_{mi} – наработка на i -м эксплуатационном режиме m -го структурного параметра;

k_{mi} – коэффициент влияния i -го эксплуатационного режима на m -й структурный параметр;

b_m – m -й структурный параметр.

Элементарные операции сравнения полученного значения с допустимым (предельным) дает ответ на вопрос об остаточном ресурсе для данного структурного параметра при условии распределения остаточного ресурса в тех же пропорциях по эксплуатационным режимам. Матрицы коэффициентов влияния в частности, определяются по тем операциям технического обслуживания, в которых есть возможность измерения контрольного параметра. Возможность получения коэффициентов влияния других режимов, например, пусковых, описывалась в работе [15].

Теория

Введем обозначения:

R – множество структурных элементов, характеризующих отказы элементов, агрегатов и систем автомобиля, $r_i \in R$, r_i – i -й структурный элемент множества, $i=1 \dots n$; n – мощность множества R ;

N – множество эксплуатационных режимов, характеризующих работу элементов, агрегатов и систем автомобиля $n_j \in N$, n_j – j -й эксплуатационный режим, $j=1 \dots p$; p – мощность множества N ;

M – множество наработок на эксплуатационных режимах;

K – множество коэффициентов влияния эксплуатационных режимов N на изменение структурных элементов множества R ;

Kr – подмножество коэффициентов влияния эксплуатационных режимов N на измене-

ние r_i -го структурного элемента множества R , $Kr \subseteq K$, $r \in R$, $Kr = \{k_j\}$, $j=1 \dots p$.

Тогда $K = \{k_{ij}\}$, $i=1 \dots n$ – коэффициент влияния j -го эксплуатационного режима на i -й структурный параметр.

Следует отметить, что каждому элементу множества $n \in N$ (где $\forall n = n_j \in N$, $j=1 \dots p$, n_j – j -й эксплуатационный режим) поставлены в соответствие элементы множеств $m \in M$ (где $\forall m = m_j \in M$, $j=1 \dots p$, m_j – наработка на j -м эксплуатационном режиме) и $k_{nr} \in K$, где $\forall r = r_i \in R$, $i=1 \dots n$, r_i – i -й структурный элемент множества.

Множества указанные выше известны из прототипов испытуемого транспортного средства.

Тогда задача может ставиться следующим образом. Выбрать наиболее ненадежные элементы (агрегаты, системы), характеризующиеся одним или несколькими структурными параметрами из множества R и определить перечень эксплуатационных режимов при проведении испытаний и долю наработки на каждом их них.

Пусть нам будет известно распределение наработки по эксплуатационным режимам прототипа транспортного средства $m_j \in M$, $m_j \in [0;1]$, $j=1 \dots p$. Тогда определив множество A как множество средних наработок до отказа по структурным параметрам из условия

$\left\{ A_i \cdot \sum_{j=1}^p k_{ij} \cdot m_j = r_{пред i} \mid i = 1 \dots n \right\}$, где $r_{пред i}$ – предельное значение i -го структурного элемента множества R , можно построить вариационный ряд наработок для изменения структурных параметров до их предельного состояния.

Первые элементы этого упорядоченного множества будут относиться к структурным элементам, характеризующих самые ненадежные элементы (агрегаты, системы).

Учитывая, что распределение наработки по эксплуатационным режимам прототипа транспортного средства носит вероятностно-статистический характер, значение величины $A_i \in A$ можно воспринимать как среднюю наработку до отказа по i -му структурному параметру. Поэтому количество подлежащих исследованию структурных параметров S определяется из условия

$$S = \sum_{i=1}^n \theta(A_{норм} - A_i), \quad (2)$$

где θ – функция Хевисайда;

$A_{норм}$ – требуемая нормативная наработка транспортного средства до отказа;

A_i – наработка до предельного значения i -го структурного параметра;

n – количество структурных параметров.

На втором этапе определим перечень эксплуатационных режимов при проведении испытаний. Выделим выбранные структурные параметры во множество $Rs \subseteq R$, а соответствующие им коэффициенты влияния сформируем в подмножество $Ks \subseteq K$, $Ks = \{k_{ij}\}$, $i=1 \dots s$, $j=1 \dots p$.

Упорядочим каждое подмножество $Ks_i = \{k_{ij}\} \in Ks$ по убыванию, сохранив соответствие между множествами Rs , Ks_i , M . Тогда для каждого i -го структурного параметра выберем из кортежа $Ks_i = \langle k_{ij} \mid j = 1 \dots d \rangle$ первые d_i эксплуатационных режимов при планировании испытаний, задавшись коэффициентом ускорения k_y из условия, что сумма долей наработки на выбранных режимах будет обратно пропорциональна коэффициенту ускорения

$$Ns_i : \left\{ ns_j \in N \mid \sum_{u=1}^j m_u \leq \frac{1}{k_y}, j = 1 \dots d_i \right\} \in N. \quad (3)$$

Таким образом отбираются первые d_i режимов, оказывающих самое сильное влияние на изменение структурного параметра. Сумма относительных наработок на этих d_i режимах равна обратной величине коэффициента ускорения испытаний. Общая наработка $As = \{as_i | i = 1 \dots s\}$ для i -го структурного параметра определяется по формуле (4) и формирует множество As

$$As = \left\{ \frac{r_{пред\ i}}{\sum_{j=1}^s k_{ij} \cdot m_j} \middle| i = 1 \dots s \right\}. \quad (4)$$

В пределе можно получить, что $\bigcap_{i=1}^s Ns_i = \emptyset$. Это означает, что у выбранных s структурных параметров все эксплуатационные режимы различны и проведение испытаний носит независимый характер.

Другой крайний случай получается при $\bigcap_{i=1}^s Ns_i = \bigcup_{i=1}^s Ns_i$, то есть множества эксплуатационных режимов для всех выбранных структурных параметров совпадают. В этом случае для исследователя стоит задача выбора распределения наработки по выбранным эксплуатационным режимам в зависимости от целей, условий и ограничений: исходя из $\max \{As\}$, $\min \{As\}$ или среднего значения \overline{as} , $\{as_i | i = 1 \dots s\} \in As$.

В промежуточных случаях, когда для любых двух множеств их пересечение не является пустым множеством $Ns_i \cap Ns_j \neq \emptyset | i = 1 \dots s, j = 1 \dots s, i \neq j$ возможна группировка эксплуатационных режимов для проведения испытаний для различных структурных параметров, в том числе с корректировкой коэффициента ускорения в большую или меньшую сторону.

Расчет

В работе [13] авторами получены коэффициенты влияния эксплуатационных режимов на изменение диэлектрической проницаемости моторного масла. Не вдаваясь в подробности их получения сведем эти данные в таблицу 1.

Таблица 1 – Коэффициенты влияния эксплуатационных режимов на диэлектрическую проницаемость моторного масла

Эксплуатационный режим	Доля наработки на режиме	коэффициент влияния
$r1$	0,1010	3,842E-06
$r2$	0,0009	6,662E-06
$r3$	0,0014	5,028E-08
$r4$	0,0170	5,473E-06
$r5$	0,0159	5,128E-06
$r6$	0,5415	3,677E-06
$r7$	0,0261	3,403E-06
$r8$	0,0023	1,100E-05
$r9$	0,1125	3,885E-06
$r10$	0,1754	3,757E-06
$r11$	0,0041	5,028E-07
$r12$	0,0019	7,986E-06

Отсортировав строки таблицы по коэффициентам влияния эксплуатационных режимов на изменение диэлектрической проницаемости в убывающем порядке можно увидеть,

что первые шесть режимов (r_8 , r_{12} , r_2 , r_4 , r_5 , r_9) в сумме составляют 0,1505 от общей наработки масла. Эксплуатируя на этих режимах в соответствующей пропорции можно почти в семь раз сократить сроки проведения испытаний. Соответствующие расчеты показаны в таблице 2. Таким образом, в таблице 2 показано, что для изменения диэлектрической проницаемости на 0,062 единиц наработку можно снизить с 783585 с до 119455с.

Таблица 2 – Расчет наработки при проведении ускоренных испытаний

Суммарная наработка, с (начальная 783585), при проведении испытаний					119455
Эксплуатационный режим	Доля наработки на режиме	Доля наработки на режиме при ускоренных испытаниях	Коэффициент влияния	Наработка на режимах	Изменение диэлектрической проницаемости масла
			-3,7E-06		-3,71E-06
r_8	0,0023	0,0154	1,1E-05	1839	1,69E-07
r_{12}	0,0019494	0,0130	7,99E-06	1547	1,03E-07
r_2	0,0009262	0,0062	6,66E-06	735	4,10E-08
r_4	0,0169988	0,1129	5,47E-06	13490	6,18E-07
r_5	0,0158622	0,1054	5,13E-06	12588	5,40E-07
r_9	0,1124719	0,7472	3,89E-06	89256	2,90E-06
r_1	0	0,0000	3,84E-06	0	0,00E+00
r_{10}	0	0,0000	3,76E-06	0	0,00E+00
r_6	0	0,0000	3,68E-06	0	0,00E+00
r_7	0	0,0000	3,4E-06	0	0,00E+00
r_{11}	0	0,0000	5,03E-07	0	0,00E+00
r_3	0	0,0000	5,028E-08	0	0,00E+00
					6,62E-07
	0,1505	1,0000		119455	7,91E-02

Результаты и обсуждение

На практике достаточно трудно избежать наработки агрегата или транспортного средства на отдельных эксплуатационных режимах. Это связано с пуском двигателя, прогревом и рядом переходных режимов. Чтобы уменьшить их влияние на конечный результат наработку на этих режимах необходимо планировать независимо от коэффициентов влияния.

Отдельные режимы следует сознательно избегать ввиду того, что в руководстве по эксплуатации транспортного средства может быть указана возможность только кратковременной работы на них.

Исследованию точности изменения структурного параметра при испытаниях на всех режимах или на части из них следует посвятить отдельный материал и в рамках данной статьи он не актуален.

Выводы

Таким образом предложен метод проведения ускоренных испытаний, основанный на принципе усечения спектра эксплуатационных нагрузок. Основу предлагаемого метода составляет учет наработки на эксплуатационных режимах исследуемого объекта.

В статье показан механизм выбора исследуемых структурных параметров при испытаниях, определение перечня эксплуатационных режимов при проведении испытаний и доли наработки на каждом их них.

В практической части исследования показана возможность сокращения сроков испытания моторного масла дизеля в семь раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заяц Ю.А. Основы теории надежности: учебник / Ю. А. Заяц. Рязань: РВВДКУ, 2013. 277 с.
2. Устименко В.С. Комплексная оценка надежности образцов военной автомобильной техники по результатам пробеговых испытаний // Военная Мысль. 2015. №7. С. 30–37.
3. Устименко В.С. Способ приведения условий испытаний военной автомобильной техники к ее реальному использованию в войсках // Военная мысль. 2017. №3. С. 31-36. EDN YGFAEZ.
4. Зимич, Ф.Ф., Винников Д. Н., Золотарев С. А. Основные результаты испытаний военной автомобильной техники в ходе зимних арктических экспедиций // Военная мысль. 2020. №1. С. 125-138.
5. Мясников Ю.Н., Никитин В.С., Равин А.А., Хруцкий О.В. Методы прогнозирования технического состояния судового энергетического оборудования // Труды Крыловского государственного научного центра. Т. 386. №4. 2018. С.117–132.
6. Баженов Ю.В., Баженов М.Ю. Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации // Технические науки, Фундаментальные исследования. №4. 2015. С. 16-21.
7. Загородний Н.А. Построение концептуальной информационной модели системы оценки, прогнозирования и управления эксплуатационной надежностью автомобилей // Транспортное машиностроение - Брянск: Брянский государственный технический университет. 2025. №2(38). С. 16-24.
8. Загородний Н.А. Эксплуатационная надёжность автомобилей в процессе их эксплуатации // Мир транспорта и технологических машин. Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. 2025. №1–2 (88). С. 101–107.
9. Матвиенко И.В. Формирование комплекса мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационной надежности транспортных средств // Новости науки и технологий. 2022. №2(61). С. 11-18.
10. Заяц Ю.А., Голубев Д.С. Постановка задачи прогнозирования остаточного ресурса военной техники и ее элементов // Научный резерв. Рязань: РВВДКУ. 2021. №2(14). С.51-56.
11. Заяц Ю.А., Заяц Т.М., Загородний Н.А. Решение первой задачи прогнозирования воздействий и остаточного ресурса транспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. Орел: ОрГТУ. 2023. №3–2(82). С. 25–32.
12. Голубев Д.С., Заяц Ю.А., Штурманов С.С., Мочалов В.В., Мохов С.В. Методика прогнозирования остаточного ресурса тормозной системы БМД-4М по данным бортовой информационно-управляющей системы // Научный резерв. Рязань: РВВДКУ. 2020. №4(12). С. 37–42.
13. Заяц Ю.А., Заяц Т.М., Загородний Н.А. Решение второй задачи прогнозирования воздействий и остаточного ресурса транспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. Орел: ОрГТУ, 2024. №3–2 (86). С. 93-101.
14. Гусев А.С., Стародубцева С. А., Щербаков В. И. Прогнозирование остаточного ресурса по результатам диагностирования натурных конструкций и при непрерывном отслеживании их технического состояния // Известия МГАТУ «МАМИ». Естественные науки. 2014. Т. 4. №1(19). С. 100–104.
15. Загородний Н.А., Заяц Ю.А., Семькина А.С. Методика определения влияния пусковых режимов ДВС на изменение эксплуатационных характеристик двигателя [Электронный ресурс] / Вестник СибАДИ. 2024. №21(1). С.88-97. URL: [https:// doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97). EDN: LIPRJC.

Заяц Юрий Александрович

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище,

Адрес: 390031, Россия, г. Рязань, пл. генерала армии В. Ф. Маргелова, д. 1

Д.т.н., профессор, профессор кафедры математических и естественнонаучных дисциплин

E-mail: sajua@yandex.ru

Петухов Роман Викторович

21-й Научно-исследовательский испытательный институт военной автомобильной техники МО РФ

Адрес: Россия, г. Бронницы, Московской обл., ул. Красная, 87

Начальник 21 НИИИ ВАТ МО РФ

E-mail: irge@yandex.ru

Yu.A. ZAYATS, R.V. PETUKHOV

TRUNCATION OF THE LOAD SPECTRUM (OPERATING MODES) DURING ACCELERATED TESTING OF MILITARY VEHICLES

Abstract. A solution to the urgent task of reducing the time required for testing automotive equip-

ment is presented. The stages of solving the problem are related to the choice of a prototype, the studied structural parameters that determine reliability, and the choice of operating modes that determine the acceleration coefficient. A mathematical model is developed and an example of calculating the acceleration coefficient is given.

Keywords: accelerated tests, accelerated tests, truncation of the load spectrum, operational mode, test conditions

BIBLIOGRAPHY

1. Zayats YU.A. Osnovy teorii nadezhnosti: uchebnik / YU. A. Zayats. Ryazan': RVVDKU, 2013. 277 s.
2. Ustimenko V.S. Kompleksnaya otsenka nadezhnosti obraztsov voennoy avtomobil'noy tekhniki po rezul'tatam probegovykh ispytaniy // Voennaya Mysl'. 2015. №7. S. 30-37.
3. Ustimenko V.S. Sposob privedeniya usloviy ispytaniy voennoy avtomobil'noy tekhniki k ee real'nomu ispol'zovaniyu v voyskakh // Voennaya mysl'. 2017. №3. S. 31-36. EDN YGFAEZ.
4. Zimich, F.F., Vinnikov D. N., Zolotarev S. A. Osnovnye rezul'taty ispytaniy voennoy avtomobil'noy tekhniki v khode zimnikh arkticheskikh ekspeditsiy // Voennaya mysl'. 2020. №1. S. 125-138.
5. Myasnikov YU.N., Nikitin V.S., Ravin A.A., Hrutskiy O.V. Metody prognozirovaniya tekhnicheskogo so-stoyaniya sudovogo energeticheskogo oborudovaniya // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra. T. 386. №4. 2018. S.117-132.
6. Bazhenov YU.V., Bazhenov M.YU. Prognozirovanie ostatochnogo resursa konstruktivnykh elementov avtomobiley v usloviyakh ekspluatatsii // Tekhnicheskie nauki, Fundamental'nye issledovaniya. №4. 2015. S. 16-21.
7. Zagorodniy N.A. Postroenie kontseptual'noy informatsionnoy modeli sistemy otsenki, prognozirovaniya i upravleniya ekspluatatsionnoy nadezhnost'yu avtomobiley // Transportnoe mashinostroenie - Bryansk: Bryanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. 2025. №2(38). S. 16-24.
8. Zagorodniy N.A. Ekspluatatsionnaya nadiozhnost' avtomobiley v protsesse ikh ekspluatatsii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. 2025. №1-2 (88). S. 101-107.
9. Matvienko I.V. Formirovanie kompleksa meropriyatiy, napravlennykh na obespechenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti transportnykh sredstv // Novosti nauki i tekhnologii. 2022. №2(61). S. 11-18.
10. Zayats YU.A., Golubev D.S. Postanovka zadachi prognozirovaniya ostatochnogo resursa voennoy tekhniki i ee elementov // Nauchnyy rezerv. Ryazan': RVVDKU. 2021. №2(14). S.51-56.
11. Zayats YU.A., Zayats T.M., Zagorodniy N.A. Reshenie pervoy zadachi prognozirovaniya vozdeystviy i ostatochnogo resursa transportnykh sredstv // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. Orel: OrGTU. 2023. №3-2(82). S. 25-32.
12. Golubev D.S., Zayats YU.A., SHturmanov S.S., Mochalov V.V., Mokhov S.V. Metodika prognozirovaniya ostatochnogo resursa tormoznoy sistemy BMD-4M po dannym bortovoy informatsionno-upravlyayushchey sistemy // Nauchnyy rezerv. Ryazan': RVVDKU. 2020. №4(12). S. 37-42.
13. Zayats YU.A., Zayats T.M., Zagorodniy N.A. Reshenie vtoroy zadachi prognozirovaniya vozdeystviy i ostatochnogo resursa transportnykh sredstv // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. Orel: OrGTU, 2024. №3-2 (86). S. 93-101.
14. Gusev A.S., Starodubtseva S. A., Shcherbakov V. I. Prognozirovanie ostatochnogo resursa po rezul'tatam diagnostirovaniya prirodoobraznykh konstruktivnykh i pri nepreryvnom otslezhivaniy ikh tekhnicheskogo sostoyaniya // Izvestiya MGATU "MAMI". Estestvennye nauki. 2014. T. 4. №1(19). S. 100-104.
15. Zagorodniy N.A., Zayats YU.A., Semykina A.S. Metodika opredeleniya vliyaniya puskovykh rezhimov DVS na izmenenie ekspluatatsionnykh kharakteristik dvigatelya [Elektronnyy resurs] / Vestnik SibADI. 2024. №21(1). S.88-97. URL: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97>. EDN: LIPRJC.

Zayats Yuri Alexandrovich

Ryazan Guards Higher Airborne Command School,

Address: 390031, Russia, Ryazan, Army General V.F. Margelov Square, 1

Doctor of Technical Sciences

E-mail: sajua@yandex.ru

Petukhov Roman Viktorovich

21st Scientific Research Testing Institute of Military Automotive Technology of the Ministry of Defense of the Russian Federation

Address: Russia, Bronnitsy, Krasnaya Str., 87

Head of the 21st Scientific Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation

E-mail: irge@yandex.ru

УДК 656.05

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-120-127

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

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Аннотация. В статье рассмотрены перспективы использования технологий больших данных в автомобильной отрасли. Проанализировано взаимодействие технологий больших данных с другими технологиями при эксплуатации автомобилей. Отмечена роль технологий больших данных в развитии автомобилестроения. Определены преимущества и значимость использования больших данных при эксплуатации автомобилей.

Ключевые слова: большие данные, технологии больших данных, большие данные в автомобильной отрасли, эксплуатация автомобилей, информационные системы

Введение

Эксплуатация современных автомобилей неразрывно связана с применением технологий больших данных, которые представляют собой работу с данными в разной форме, с разной инфраструктурой хранения и обработки информации [1]. Технологии больших данных – это совокупность подходов и инструментов для обработки структурированных и неструктурированных данных огромных объёмов и значительного многообразия. Для сбора, хранения и анализа больших данных требуются специальные инструменты и оборудование.

Технологии больших данных позволяют ускорять доступ к информации, полученной от разных средств измерений, на основе которой водитель может своевременно и оперативно принять решение для исключения вероятности возникновения отказов и неисправностей автомобиля или уменьшения последствий. Например, передача информации с датчиков, установленных на автомобиле, на панель приборов с целью информирования водителя о техническом состоянии транспортного средства [2].

Для автотранспортных предприятий применение технологий больших данных и алгоритмов машинного обучения является ключевым конкурентным преимуществом, так как это позволяет разрабатывать и применять более качественные решения.

Технологии больших данных играют весомую роль в автомобильной отрасли. Технологии больших данных применяются в страховании и кредитовании автомобилей, в области эксплуатации автомобиля, в области аналитики клиентов автосалонов и автосервисных станций, в области рекламы, нацеленной на водителя и пассажиров, в области перевозок и т.д.

Технологии больших данных в области автомобилестроения могут решать множество различных задач, например, анализировать полученные данные о состоянии автомобиля, выявлять скрытые неисправности и явные отказы, а также на основе этого прогнозировать ресурс автомобиля и определять закономерности появления этих отказов и неисправностей, для автотранспортных предприятий анализировать клиентированность и выявлять потребности клиентов, оптимизировать технологические процессы предприятий, разрабатывать новые модели и решения для повышения эффективности эксплуатации автомобильного транспорта и др.

Основным преимуществом использования технологий больших данных в автомобилестроении для автотранспортных предприятий является персонализация предоставляемых автотранспортными предприятиями услуг, повышение эффективности работы предприятий, способность в разработке умных технологий и систем для предоставления услуг автомобильных компаний своим клиентам [3, 4].

При использовании технологий больших данных для владельцев автомобилей можно провести анализ полученной информации, определяющей виды возникающих отказов и не-

исправностей, предотвращение дорогостоящего ремонта при отказе агрегата, узла и детали, а также выбор наиболее эффективного решения для устранения последствий повреждений и неисправностей автомобилей.

Материал и методы

Технология больших данных является одной из прогрессируемых технологий, находящей свое применение в любой сфере деятельности, в том числе и в автомобилизации.

В настоящее время технологии больших данных решают вопросы поиска, сбора, хранения, анализа информации и разработки новых методов для решения возникающих сложных ситуаций.

Технологии больших данных в автомобилестроении могут взаимодействовать и с другими технологиями, например, искусственный интеллект, интернет вещей или системы распределенного реестра и т.д. (рис. 1).

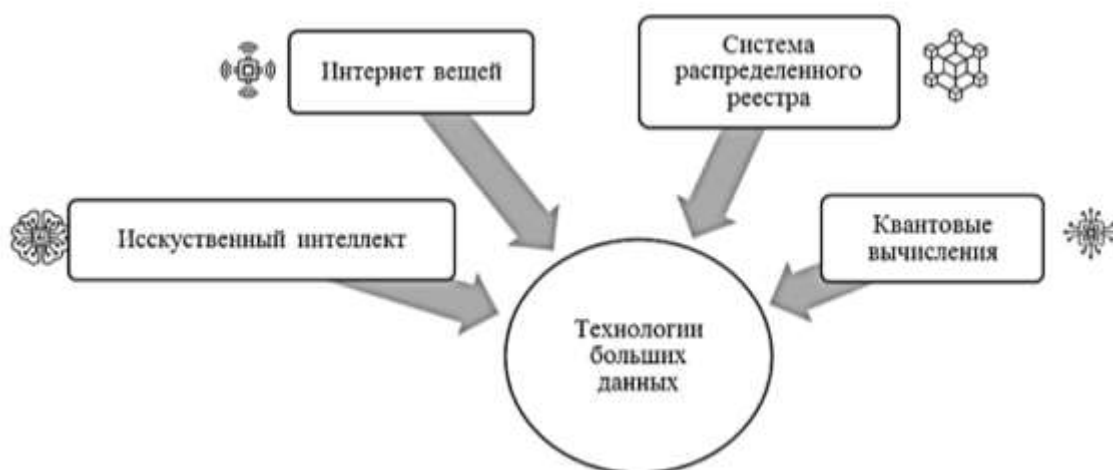


Рисунок 1 – Взаимодействие технологий больших данных с другими технологиями

Взаимодействие технологий больших данных с искусственным интеллектом в автомобилестроении позволяет использовать большой поток информации и преобразовывать его, а также выявлять закономерности появления отказов и принимать более эффективные интеллектуальные решения для их устранения [5].

Взаимодействие технологий больших данных с интернетом вещей в автомобилестроении генерирует полученную информацию с датчиков и позволяет оптимизировать процессы работы агрегатов и систем автомобиля, а также принимать решения для улучшения процессов работы в режиме реального времени.

Взаимодействие технологий больших данных с системой распределенного реестра в автомобилестроении позволяет обеспечить безопасность и точность полученной информации, далее обрабатывать и анализировать ее и принимать правильные решения с целью устранения закономерностей выявленных отказов и неисправностей [6].

Взаимодействие технологий больших данных с квантовыми вычислениями в автомобилестроении позволяет выбирать инструменты, которые способствуют ускоренной обработке информации, создавать математические модели и вычисления, улучшающие процесс работы систем. Например, с помощью расчетов и алгоритмов вычислить ресурс автомобиля с минимальными эксплуатационными затратами.

Теория / Расчет

Технологии больших данных позволяют работать с информацией разной формы, будь то текст, изображение или сенсорные данные. Информация в разном виде благодаря технологиям больших данных анализируется и аккумулируется в одном месте. При работе с большими данными могут быть использованы различные инструменты, подходящие для различных типов информации. Процесс работы с большими данными направлен, в первую очередь, на автоматизацию процесса работы, которая учитывает принципы технологий больших данных.

Принцип работы технологий больших данных (рис. 2):

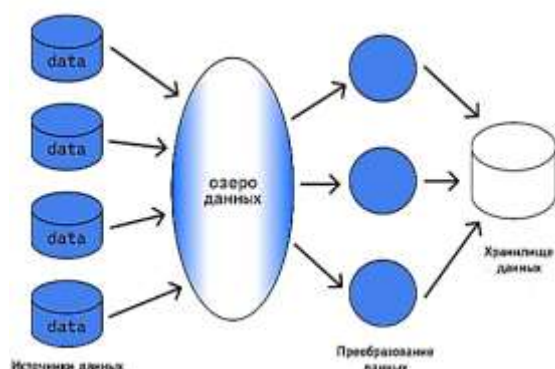


Рисунок 2 – Принцип работы технологии больших данных



Рисунок 3 – Озеро данных

Озеро данных – это место, через которое проходит большой поток информации, далее она анализируется и обрабатывается и в дальнейшем поступает в хранилище данных (рис. 3). Озеро данных представляет собой файловое хранилище информации, хранящееся на серверах. Озеро данных позволяет найти решения для повышения отказоустойчивости и долговечности систем и агрегатов автомобиля [8].

Хранилище данных представляет собой систему сбора и хранения информации, а также ее структурирования. Информация в хранилище данных хранится в табличном представлении. В основном хранилище данных применяется для автоматических отчетов [9].

Хранилищем данных могут пользоваться все сотрудники компании. Оно образует единый доступ ко всем данным предприятия в режиме реального времени [10].

Результаты

Технология больших данных в автомобильной отрасли активно развивается и находит свое применение в практических целях [11,12]. На данный момент наиболее крупными компаниями по развитию технологии больших данных являются Arenadata, Яндекс, Microsoft, Google и др.

Критерии применимости технологий больших данных указаны в таблице 1.

Анализ и хранение большого количества информации об автомобилях является одним из ключевых инструментов для повышения эффективности работы автотранспортных предприятий.

1. Поиск информации. Сведения о техническом состоянии автомобилей поступают от различных устройств, систем мониторинга и приложений.

2. Анализ, аккумулирование и систематизация полученной информации. Все данные, полученные от датчиков о состоянии автомобиля, консолидируется в одном месте, так называемом озере данных.

3. Редактирование и преобразование полученных данных. На данном этапе информация подлежит обработке, ранжировке и фильтрации имеющихся сведений в определённые структуры для быстрого и правильного принятия решения.

4. Передача полученной информации. Преобразованная информация транспортируется в специально созданное хранилище данных. В хранилище данных информация анализируется и далее создается итоговый результат или решение, либо основа для дальнейшего моделирования [7].

Таблица 1 - Критерии применимости технологий больших данных

Параметры	Характеристика
Объем и скорость данных	Технологии больших данных позволяют хранить большой объем информации в одном месте и генерировать ее с высокой скоростью. Эффективная работа с информацией может осуществляться онлайн.
Выбор источников информации	Информация, это может быть текст, аудио, видео или сенсорные данные, может поступать из различных источников. Технологии больших данных позволяют интегрировать разные форматы и получить эффективное решение.
Анализ и прогнозирование	Технологии больших данных позволяют применять инструменты для глубокого и полного анализа ситуации и прогнозирования воздействий. Например, прогнозирование возникновения отказов агрегатов или результаты диагностики автомобиля. Технологии больших данных могут использовать машинное обучение и визуализацию.
Работа в режиме реального времени	Технологии больших данных позволяют снизить материальные затраты и повысить оперативность принятия решений при обработке информации в режиме реального времени. Например, управление заказ-нарядами на автосервисных предприятиях.
Сложность распределённых систем	Технологии больших данных позволяют согласовывать и координировать информацию между разными структурами. Например, одновременная работа мастера-приемщика и специалиста склада в одном заказ-наряде при выполнении ремонта автомобиля.
Шифрование	Технологии больших данных позволяют использовать шифрование и анонимизацию информации, обеспечивают конфиденциальность данных. Например, наличие повреждений автомобиля после попадания в ДТП.
Правовая и законодательная база	Технологии больших данных позволяют обеспечить соблюдение всех требований и правовых норм в соответствии с действующим законодательством.

Обсуждение

Технологии больших данных применяют в себе уровни данных, к которым относят базовый и продвинутой. Базовые уровни позволяют редактировать информацию и запускают базовые процессы для управления этой информацией на автотранспортном предприятии [13]. Продвинутой уровни автоматизируют процессы принятия решений на основе полученной информации. Благодаря продвинутой уровню очень легко создать конкурентное преимущество между автотранспортными компаниями по управлению производством и деятельностью предприятия [14].

Получение информации об автомобилях происходит от простого уровня к более сложному [15]. Так при каждом этапе для каждого потока информация формируются свои требования для успешного перехода на следующий уровень. Возникающие трудности по мере перехода информации с одного уровня на другой необходимо прорабатывать своевременно. Устойчивое развитие каждого уровня влияет на развитие всего автотранспортного предприятия.

Уровни анализа информации в автотранспортных предприятиях включают в себя:

1. Описательный.
2. Диагностический.
3. Предсказательный.
4. Предписательный.

На описательном уровне оценивается состояние автомобиля в целом, предварительно определяя возможно возникшие отказы и неисправности автомобиля. Диагностический уровень предполагает проведение осмотра автомобиля и контрольно-диагностических работ для выявления существующих отказов и неисправностей. На предсказательном уровне формируется информация о выработанном ресурсе узлов и агрегатов, а также о последствиях выявленных отказах для автомобилей. Предписательный уровень определяет способы и методы

устранения возникших отказов и формирование решений, позволяющих предупредить эти отказы в дальнейшем [16].

Для каждого уровня аналитики данных нужны свои инструменты. Инструментами для работы с данными в автотранспортных предприятиях могут быть Google Analytics, Firebase, Superset и др. При подборе правильного инструмента с данными можно добиться высокой скорости развития данных и процесса работы компании в целом [17].

Отсутствие использования технологий больших данных автотранспортными предприятиями приводит к тому, что при работе с информацией в компаниях принимаются решения, основанные на экспертном мнении, что может усложнить в выборе объективного решения.

Процесс постоянного контроля за техническим состоянием автомобилей и обработка этих данных инструментами технологий больших данных позволяет находить новые способы решения задач и поддерживать технически исправное состояние автомобиля на всем сроке службы с минимальными затратами для компании.

Требования к базовому уровню данных:

1. Наличие хранилища данных;
2. Наличие собранных метрик;
3. Наличие согласованных методологий;
4. Наличие ответственных за показатели компании;
5. Автоматическое обеспечение дашбордов в компании. Дашборды – автоматизированные отчеты с регулярным автообновлением показателей.

Продвинутый уровень аналитики предоставляет возможность понимать движение характеристик и показателей автотранспортных предприятий, а также прогнозировать их развитие и при необходимости автоматически корректировать и редактировать.

Требования к продвинутому уровню данных

1. Высокая стабильность хранилища данных;
2. Инфраструктура для автоматизации решений над данными;
3. Наличие собранных метрик, моделей данных;
4. Сегменты пользовательской базы;
5. Наличие ответственных за показатели компании.

Выводы

Во многих современных автомобилях предусмотрены новейшие информационные технологии, обеспечивающие эффективную эксплуатацию автомобиля и его показатели надежности. Встроенные системы в автомобиль позволяют контролировать техническое состояние автомобиля, а также подключение автомобиля к сети интернет, позволяет использовать навигацию, электронную почту и т.д. Благодаря подключению автомобиля к сети интернет очень легко и быстро обновлять настройки блока управления автомобилем, что позволяет обеспечивать эффективный контроль за работой всех систем, агрегатов и узлов автомобилей. Своевременное обновление всех приложений и передача информации о техническом состоянии автомобиля в базу данных дает возможность контролировать сроки проведения сервисных воздействий (техническое обслуживание, ремонт, диагностика и т.д.).

Большие данные являются информацией, полученной от различных источников, благодаря которой можно осуществлять регулярный контроль за техническим состоянием автомобиля и принимать своевременные решения по устранению всех возникающих отказов и неисправностей. Технологии больших данных позволяют контролировать также и состояние водителя, его утомляемость, режим труда и отдыха и т.д.

В будущем технологии больших данных при взаимодействии с другими технологиями (искусственный интеллект, беспилотное управление и т.д.) позволят добиться высокого прогресса при эксплуатации автомобиля, так как большие данные имеют высокий потенциал для автономных технологий в автомобиле.

Перспективным направлением работы с большими данными является телематическая система Remoto, которая является системой удаленного управления автомобилем [18]. Бла-

годаря такой платформе водителю очень легко управлять автомобилем на расстоянии, например осуществлять запуск двигателя, открытие/закрытие дверей и крышки багажника, предварительный прогрев или охлаждение салона по расписанию, легкий поиск места на парковке и т.д. При использовании приложения на смартфоне водителю очень удобно управлять автомобилем. За подобными системами стоит будущее автомобильной отрасли.

Технологии больших данных - это существенный прогресс в мире технологий, внедряемых в автомобильную отрасль. Технологии больших данных позволяют осуществлять автоматический регулярный контроль за техническим состоянием автомобиля и повысить его безопасную эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семькина А.С., Загородний Н.А. Использование компьютерных программ для эффективного управления автобизнесом // Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы – перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. Курск: Юго-Западный гос. ун-т. 2015. С. 184-187.
2. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А., Шаталова Н.В., Бородин О.В., Лукомская О.Ю., Выдрин Е.О. Трансформация цифровых технологий при переходе к когнитивности на транспорте // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2021. №8. С. 3-9.
3. Рожков Е.В. Внедрение цифровых технологий при использовании общественного транспорта (на уровне муниципального образования) // Информационные технологии в управлении и экономике. 2021. №4(25). С. 4-12.
4. Журавлева Н.А. Проблемы внедрения цифровых технологий на транспорте // Транспорт Российской Федерации. 2019. №3(82). С. 19-22.
5. Кириченко А.А. Цифровые технологии на автомобильном транспорте // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: Материалы XII региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова. 2020. С. 79-81.
6. Боровая К.С. Анализ применения цифровых технологий на транспорте // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты: Труды II Международной научно-практической конференции. 2019. С. 98-101.
7. Коньшева М.В. Современные цифровые технологии управления логистическими операциями на транспорте // Правовые аспекты цифровизации международного транспорта и логистики. материалы Второго Международного транспортно-правового форума. Москва: Юридический институт Российского университета транспорта (МИИТ). 2020. С. 201-210.
8. Ушаков Д.И. Цифровизация бизнес-процессов на транспорте как фактор роста и инфраструктурных преобразований экономики // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2019. №1(39). С. 41-47.
9. Малышев М.И., Филиппова Н.А. Уровень цифровизации российского транспорта // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VI Международной научно-практической конференции. 2020. С. 62-68.
10. Чернышев М.Г. Цифровая трансформация в сфере услуг автосервиса // Цифровая экономика и финансы: Материалы Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2022. С. 469-474.
11. Алемасов Е.П., Зарипова Р.С. Информационные технологии как фактор эффективности работы автосервиса // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. №3. С. 132-136.
12. Ляхов И.Ю. Разработка мобильного приложения для оптимизации работы автосервиса // Молодежь и системная модернизация страны: Сборник научных статей 7-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 5-ти томах. Курск., 2022. С. 410-413.
13. Рыжая А.А., Белякова Е.В., Добрачев С.С. Состояние рынка технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта в России // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Красноярск. 2022. С. 1095-1097.
14. Ростова О.В. Использование информационной поддержки в сфере услуг // Развитие сферы услуг: стратегии, инновации, компетенции. материалы всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 471-476.
15. Авхадеева Э.А., Тишина В.С., Фатихова Л.Э. Роль и значение цифровых технологий в деятельности автосервисных предприятий // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции. 2019. С. 6-9.
16. Семькина А.С., Загородний Н.А., Конев А.А., Щетинин Н.А. Использование цифровых и информационных технологий для повышения эффективности деятельности автосервисных предприятий // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-2(80). С. 89-97.

17. Семькина А.С., Загородний Н.А., Конев А.А. Повышение эффективности деятельности автосервисных предприятий посредством применения цифровых и информационных технологий // Автомобильная промышленность. 2023. №6. С. 16-24.

18. Сасновский А.А., Божко Р.А. BIG DATA в автомобильной промышленности // BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня: Десятая Международная научно-практическая конференция. Минск. 2024. С. 229-232.

Гринякин Руслан Валентинович

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова

Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

Аспирант кафедры техника и технологии наземного транспорта

E-mail: V.Grinyakin@yandex.ru

Дорохин Сергей Владимирович

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова

Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

Д.т.н., доцент, декан автомобильного факультета, профессор

E-mail: dsvvrn@yandex.ru

Загородний Николай Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., зав. кафедрой эксплуатация и организация движения автотранспорта

E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Семькина Алла Сергеевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., старший преподаватель кафедры эксплуатация и организация движения автотранспорта

E-mail: Fantarock@mail.ru

R.V. GRINYAKIN, S.V. DOROKHIN, N.A. ZAGORODNY, A.S. SEMYKINA

CAR OPERATION USING BIG DATA TECHNOLOGIES

Abstract. *The article discusses the prospects of using big data technologies in the automotive industry. The interaction of big data technologies with other technologies in car operation is analyzed. The role of big data technologies in the development of the automotive industry is noted. The advantages and importance of using big data in car operation are determined.*

Keywords: *big data, big data technologies, big data in the automotive industry, car operation, information systems*

BIBLIOGRAPHY

1. Semykina A.S., Zagorodniy N.A. Ispol'zovanie komp'yuternykh programm dlya effektivnogo upravleniya avtobiznesom // Metalloobrabatyvayushchie komplekсы i robototekhnicheskie sistemy - perspektivnye napravleniya nauchno-issledovatel'skoy deyatel'nosti molodykh uchenykh i spetsialistov: Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Kursk: YUgo-Zapadnyy gos. un-t. 2015. S. 184-187.
2. Seliverstov S.A., Seliverstov YA.A., Shatalova N.V., Borodina O.V., Lukomskaya O.YU., Vydrina E.O. Transformatsiya tsifrovyykh tekhnologiy pri perekhode k kognitivnosti na transporte // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2021. №8. S. 3-9.
3. Rozhkov E.V. Vnedrenie tsifrovyykh tekhnologiy pri ispol'zovanii obshchestvennogo transporta (na urovne munitsipal'nogo obrazovaniya) // Informatsionnye tekhnologii v upravlenii i ekonomike. 2021. №4(25). S. 4-12.
4. ZHuravleva N.A. Problemy vnedreniya tsifrovyykh tekhnologiy na transporte // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2019. №3(82). S. 19-22.
5. Kirichenko A.A. Tsifrovye tekhnologii na avtomobil'nom transporte // Sostoyanie i innovatsii tekhnicheskogo servisa mashin i oborudovaniya: Materialy XII regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, posvyashchennoy pamyati dotsenta M.A. Anfinogenova. 2020. S. 79-81.

6. Borovaya K.S. Analiz primeneniya tsifrovyykh tekhnologiy na transporte // Tsifrovoy region: opyt, kompetentsii, proekty: Trudy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2019. S. 98-101.
7. Konysheva M.V. Sovremennye tsifrovye tekhnologii upravleniya logisticheskimi operatsiyami na transporte // Pravovye aspekty tsifrovizatsii mezhdunarodnogo transporta i logistiki. materialy Vtorogo Mezhdunarodnogo transportno-pravovogo foruma. Moskva: YUridicheskiiy institut Rossiyskogo universiteta transporta (MIIT). 2020. S. 201-210.
8. Ushakov D.I. Tsifrovizatsiya biznes-protssessov na transporte kak faktor rosta i infrastruktturnykh preobrazovaniy ekonomiki // Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2019. №1(39). S. 41-47.
9. Malyshev M.I., Filippova N.A. Uroven' tsifrovizatsii rossiyskogo transporta // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2020. S. 62-68.
10. Chernyshev M.G. Tsifrovaya transformatsiya v sfere uslug avtoservisa // Tsifrovaya ekonomika i finansy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg. 2022. S. 469-474.
11. Alemasov E.P., Zaripova R.S. Informatsionnye tekhnologii kak faktor effektivnosti raboty avtoservisa // International Journal of Advanced Studies. 2020. T. 10. №3. S. 132-136.
12. Lyakhov I.YU. Razrabotka mobil'nogo prilozheniya dlya optimizatsii raboty avtoservisa // Molodezh' i sistemnaya modernizatsiya strany: Sbornik nauchnykh statey 7-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh. V 5-ti tomakh. Kursk., 2022. S. 410-413.
13. Ryzhaya A.A., Belyakova E.V., Dobrachev S.S. Sostoyanie rynka tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobil'nogo transporta v rossii // Molodye uchenye v reshenii aktual'nykh problem nauki: Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (s Mezhdunarodnym uchastiem). Krasnoyarsk. 2022. S. 1095-1097.
14. Rostova O.V. Ispol'zovanie informatsionnoy podderzhki v sfere uslug // Razvitie sfery uslug: strategii, innovatsii, kompetentsii. materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2019. S. 471-476.
15. Avkhadeeva E.A., Tishina V.S., Fatikhova L.E. Rol' i znachenie tsifrovyykh tekhnologiy v deyatel'nosti avtoservisnykh predpriyatiy // Perspektivnye napravleniya razvitiya avtotransportnogo kompleksa: Sbornik statey XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2019. S. 6-9.
16. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Konev A.A., Shchetinin N.A. Ispol'zovanie tsifrovyykh i informatsionnykh tekhnologiy dlya povysheniya effektivnosti deyatel'nosti avtoservisnykh predpriyatiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №1-2(80). S. 89-97.
17. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Konev A.A. Povyshenie effektivnosti deyatel'nosti avtoservisnykh predpriyatiy posredstvom primeneniya tsifrovyykh i informatsionnykh tekhnologiy // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2023. №6. S. 16-24.
18. Sasnovskiy A.A., Bozhko R.A. BIG DATA v avtomobil'noy promyshlennosti // BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA i analiz vysokogo urovnya: Desyataya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Minsk. 2024. S. 229-232.

Grinyakin Ruslan Valentinovich

Voronezh State Forest Engineering University
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazeva str. 8
Postgraduate student
E-mail: V.Grinyakin@yandex.ru

Dorokhin Sergey Vladimirovich

Voronezh State Forest Engineering University
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazeva str. 8
Doctor of Technical Sciences
E-mail: dsvvrn@yandex.ru

Zagorodniy Nikolay Alexandrovich

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod Kostyukova str., 46
Candidate of Technical Sciences
E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Semykina Alla Sergeevna

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

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-128-137

О.Ю. БУЛАТОВА, В.В. ЗЫРЯНОВ

АРХИТЕКТУРА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЁТОМ СОЦИАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРОДСКИХ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Аннотация: В статье рассматривается интегрированная транспортная система, объединяющая киберфизические элементы (интеллектуальные транспортные системы, датчики, сети связи и т.д.) и социальный компонент (поведение участников массового мероприятия). Данный подход позволяет описывать сложные динамические процессы, которые неэффективно анализировать по отдельности. Применение кибер-физико-социальной системы (КФСС) для транспортного обслуживания массовых мероприятий обеспечивает углублённый анализ взаимодействий между элементами системы и участниками мероприятия, что позволяет разработать комплексный и эффективный подход к транспортно-логистическому обслуживанию. Данная статья представляет собой исследование в области разработки концептуальной архитектуры КФСС для эффективного транспортного обслуживания массовых мероприятий.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, кибер-физико-социальные системы, транспортное обслуживание массовых мероприятий, безопасность дорожного движения

Введение

Концепция кибер-физико-социальной системы (КФСС) является результатом развития и интеграции киберфизических и социотехнических систем. Кибернетические системы включают в себя системы, объединяющие вычислительные компоненты и физические процессы. Социотехнические системы включают в себя технические и социальные элементы. Социотехнические системы учитывают влияние человеческого фактора и организационные структуры, а также социальное взаимодействие элементов.

КФСС возникли в результате расширения киберфизических систем с признанием важности социального взаимодействия в функционировании сложных систем.

Повсеместное распространение Интернета вещей, работа с большими данными и возможность анализа социальных сетей позволили более глубоко анализировать взаимодействие между техническими и социальными системами. Активное развитие КФСС началось в 2010-х годах, и интерес к этой области продолжает расти. Наиболее значимые работы в области КФСС на транспорте принадлежат А. Koubâa, В. Andersson (2009), Molina E, Jacob E (2018), Лёвину Б.А., Цветкову В.Я. (2018), Yilma, Bereket & Panetto, Hervé & Naudet, Yannick (2019, 2021), Zeng J, Yang LT, Lin M (2020) и другим [1-10]. Однако исследования КФСС в области транспортных систем являются новой, быстро развивающейся областью.

Материал и методы

Проведение массовых мероприятий представляет собой сложную задачу для существующей транспортной системы принимающей территории, что связано с резким увеличением спроса на пассажирские и коммерческие перевозки и другими аспектами, увеличивающими транспортную нагрузку во время мероприятия. Также трудности транспортного планирования во время массовых мероприятий связаны с непредсказуемостью выбора участниками мероприятия типа транспортного средства, времени прибытия, поведения при изменении погодных условий и т. д. Высокая плотность движения значительно повышает риск до-

рожно-транспортных происшествий. Заторы, в свою очередь, затрудняют передвижение аварийных служб, что может привести к задержкам в оказании помощи и увеличению тяжести последствий чрезвычайных ситуаций. Увеличение транспортной нагрузки также негативно сказывается на окружающей среде, увеличивая объем выбросов загрязняющих веществ, уровни шума и вибрации от движения транспортных средств. Перечисленные проблемы требуют комплексного подхода к их решению, который должен учитывать не только аспекты функционирования транспортной системы, но и социальное поведение участников мероприятия. Решением этих проблем может стать использование КФСС. Далее в статье рассматриваются функции этой системы во время проведения городских массовых мероприятий, а также предлагается концептуальная архитектура КФСС, обеспечивающая эффективное транспортное обслуживание массовых мероприятий [11-15].

Применение концепции КФСС является наиболее эффективным подходом при реализации транспортного обслуживания массовых мероприятий. Рассмотрим КФСС в контексте решения транспортных проблем и обеспечения эффективного транспортного обслуживания в условиях городских массовых мероприятий

Мета-модель КФСС представлена на рисунке 1. Эта модель формализует основные компоненты КФСС КФС как комбинации фундаментальных физических (С), функциональных (Р) и социальных элементов (S), а также взаимосвязь между ними.

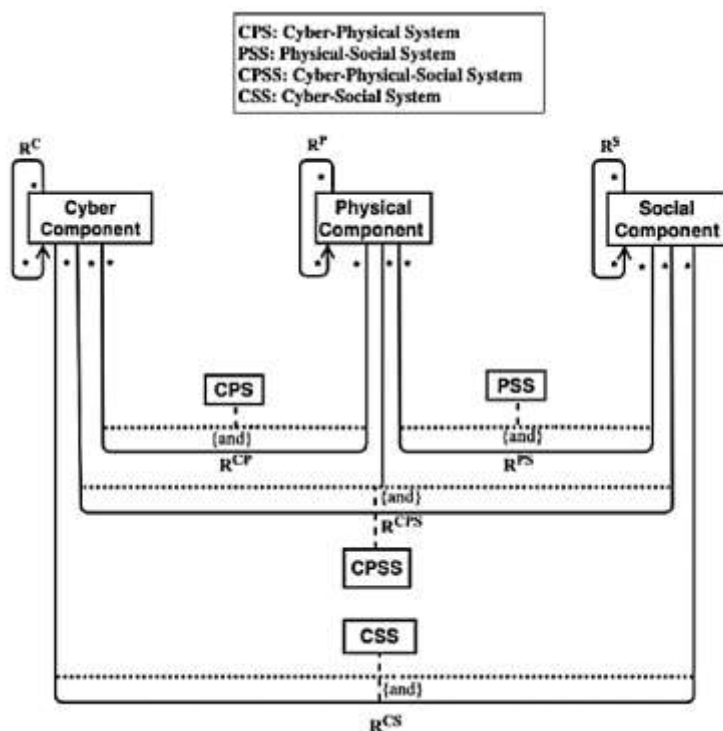


Рисунок 1 – Мета-модель КФСС

Рассмотрим функции кибер-физико-социальных систем в сфере транспортного обслуживания массовых мероприятий. Эти функции включают в себя: сбор и анализ данных, разработку стратегий для принятия различных решений, управление и оптимизацию транспортных потоков, а также взаимодействие всех объектов транспортной инфраструктуры с пользователями [16-21].

Классифицируем функции системы следующим образом:

1. Мониторинг и сбор данных:

– Мониторинг транспортных потоков в реальном времени: КФСС позволяют собирать данные о скорости движения, плотности трафика, заторах, количестве доступных пар-

ковочных мест с помощью различных устройств (камер, радаров, датчиков и т. д.) и других источников информации.

- Мониторинг состояния транспортной инфраструктуры:
- Контроль состояния дорог, функционирования светофоров, наличия свободных парковочных мест.

- Сбор данных о поведении участников и зрителей мероприятия: Анонимный сбор данных о перемещении участников с помощью мобильных приложений, проведение опросов и использование других источников информации. Этот раздел позволяет получать информацию о предпочтениях участников в выборе видов транспорта и маршрутов.

2. Анализ поведения транспортных потоков и прогнозирование:

- Анализ поведения транспортных потоков: Обработка собранных данных для выявления закономерностей, прогнозирования и определения потенциальных проблем (пробок, дорожно-транспортных происшествий).

- Прогнозирование поведения транспортного спроса: Определение количества участников мероприятия и их транспортных предпочтений с целью планирования транспортного обслуживания.

- Оценка эффективности различных стратегий управления транспортом: Моделирование функционирования транспортной системы и сравнение различных сценариев с целью оптимизации движения транспортных потоков и выбора наилучших стратегий управления.

3. Управление транспортной системой и оптимизация трафика:

- Динамическое управление светофорами: Адаптивное управление светофорами в зависимости от дорожной обстановки.

- Оптимизация маршрутов общественного транспорта: Динамическое изменение маршрутов и расписаний общественного транспорта для повышения эффективности городских пассажирских перевозок.

- Управление парковочным пространством: Направление транспортных потоков в менее загруженные парковочные зоны, информирование о наличии свободных мест.

- Управление пешеходными потоками: Направление пешеходного движения для обеспечения безопасности пешеходного движения и предотвращения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций.

4. Информирование и взаимодействие с различными структурами:

- Предоставление информации участникам мероприятия: Информирование участников о пробках, оптимальных маршрутах, наличии парковочных мест с помощью мобильных приложений, динамических информационных табло и других каналов связи.

- Взаимодействие с экстренными службами: Обеспечение бесперебойной работы экстренных служб во время массовых мероприятий.

- Сбор обратной связи от участников мероприятия: Получение обратной связи от участников мероприятия для дальнейшей оптимизации транспортного обслуживания.

5. Обеспечение безопасности дорожного движения:

- Мониторинг потенциально опасных ситуаций: Выявление и предупреждение о потенциально опасных ситуациях (пробки, дорожно-транспортные происшествия, скопления людей и т. д.) для своевременного принятия мер.

- Координация действий различных служб: Обеспечение координации между различными экстренными службами (полицией, скорой медицинской помощью, транспортными компаниями) для обеспечения безопасности участников мероприятия.

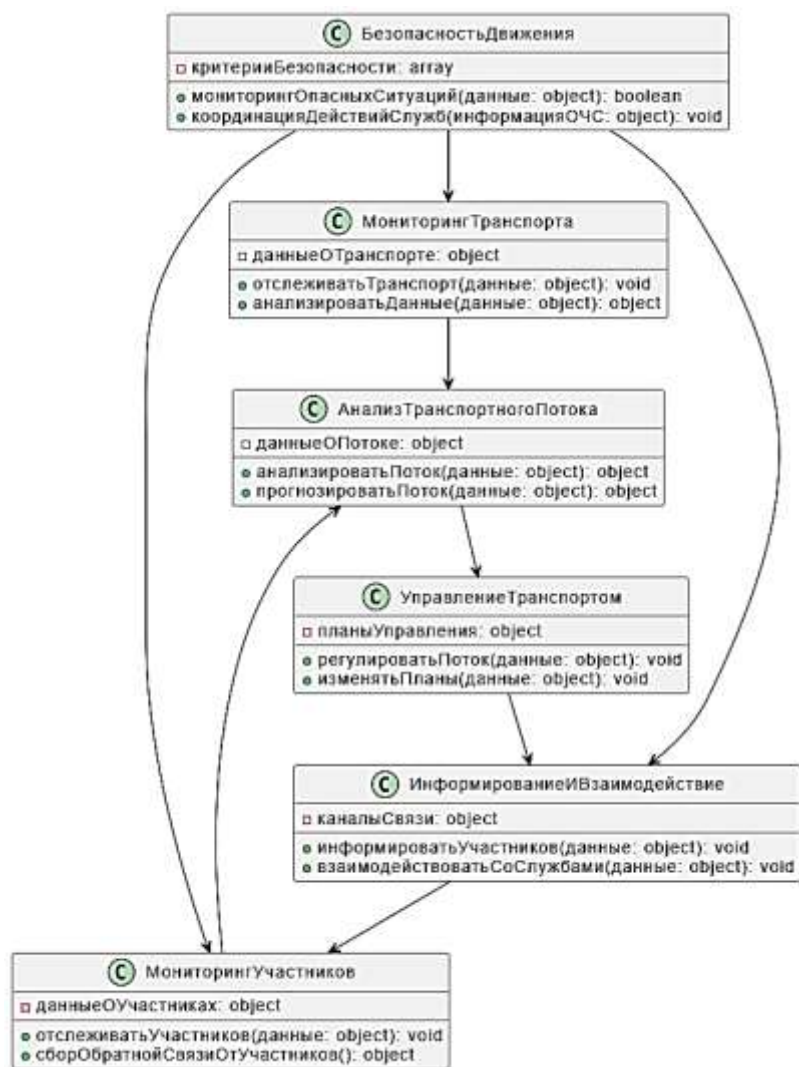


Рисунок 2 – Взаимодействие компонентов КФСС

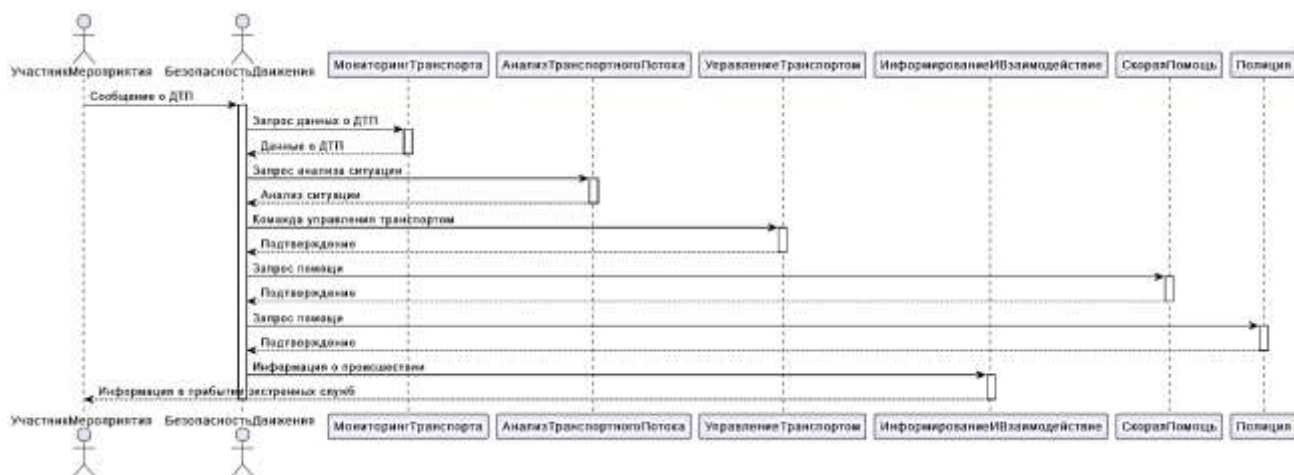


Рисунок 3 – Реализация сервисов КФСС

Перечисленные функции тесно взаимосвязаны и работают комплексно для обеспечения эффективного и безопасного транспортного обслуживания массовых мероприятий (рис. 2, 3). КФСС позволяет объединять компоненты в единую систему для принятия эффективных решений в режиме реального времени с учетом как технических, так и социальных аспектов [23, 24].

Теория / Расчет

Архитектура КФСС является концептуальной основой системы, которая определяет взаимодействия и взаимосвязи между кибернетическими, физическими и социальными компонентами системы. Разработка архитектуры необходима для обеспечения эффективной работы, масштабируемости и устойчивости КФСС. Архитектура КФСС позволяет четко определить функции, роли компонентов и их взаимодействие. Архитектура также служит основой для разработки, тестирования и внедрения системы. Архитектура КФСС включает в себя три уровня: физический уровень, который включает устройства и инфраструктуру (датчики, транспортную инфраструктуру); кибернетический уровень - вычислительные устройства, программное обеспечение и базы данных, отвечающие за обработку данных и управление системой; и социальный уровень, который включает пользователей, их взаимодействия и социальные процессы, влияющие на функционирующие системы.

Рассмотрим концептуальную архитектуру КФСС, обеспечивающую транспортное обслуживание массовых мероприятий:

1. Физический уровень архитектуры CPSS:

–Транспортная инфраструктура: дороги, пешеходные зоны, автостоянки, линии общественного транспорта (автобусы, метро, трамваи), велосипедные дорожки.

–Сенсорная сеть: Различные датчики, установленные на дорогах, парковках и в общественном транспорте:

- Датчики движения: измерение скорости и плотности транспортного потока.
- Датчики парковки: определяют наличие парковочных мест.
- Видеокамеры: отслеживают движение транспортных и пешеходных потоков.
- GPS-трекеры: отслеживают движение транспортных средств.

–Коммуникационная инфраструктура: беспроводное соединение, обеспечивающее передачу данных с перечисленных устройств в центр обработки данных.

2. Кибернетический уровень архитектуры CPSS:

–Центр обработки данных: Сервер, который обрабатывает данные, поступающие с различных устройств.

–Системы управления: системы управления дорожным движением, общественным транспортом, парковками.

–Системы моделирования: разработка моделей, используемых для прогнозирования поведения транспортных потоков и оптимизации трафика (например, модели машинного обучения, агентно-ориентированные модели и т.д.).

–Базы данных: хранение транспортных данных.

–API-сервисы: предоставление доступа к системным данным и функциям для различных приложений и сервисов.

3. Социальный уровень архитектуры CPSS:

–Мобильные приложения: навигация, поиск парковки, информация о дорожном движении, бронирование билетов на общественный транспорт.

–Динамические информационные табло: информация о пробках, маршрутах и другая информация.

–Система обратной связи: каналы для сбора отзывов от участников мероприятия.

–Социальные сети: мониторинг социальных сетей с целью получения информации о дорожных условиях и оценки общественного мнения.

Взаимодействие компонентов обеспечивается следующим образом: данные, собранные на физическом уровне, передаются в центр обработки данных на кибернетическом уровне. Здесь данные обрабатываются, анализируются и используются для принятия решений на уровне управления. Результаты обработки данных используются для информирования участников мероприятия через мобильные приложения и электронные табло на социальном уровне. Обратная связь от участников может быть использована для оптимизации работы

Выбор конкретного подхода к разработке архитектуры КФСС зависит от специфики мероприятия и требований транспортной системы. При реализации концепции КФСС возможны следующие подходы к разработке архитектуры:

- Микросервисная архитектура: Система разделена на независимые сервисы, которые взаимодействуют друг с другом через API. Это обеспечивает гибкость и масштабируемость системы.

- Облачная архитектура: использование облачных сервисов для хранения данных, обработки данных и предоставления услуг.

- Событийная архитектура: система реагирует на события, происходящие в режиме реального времени (например, транспортные заторы, ДТП).

Эффективная реализация КФСС для транспортного обслуживания массовых мероприятий требует детального проектирования архитектуры, учитывающего специфику мероприятия, доступность ресурсов и требования к безопасности и защите данных.

Результаты и обсуждение

Результатом реализации кибер-физико-социальных систем во время проведения массовых мероприятий является комплексная оптимизация функционирования транспортной системы, которая включает в себя оптимизацию условий и безопасности дорожного движения, снижение негативного воздействия движения транспортных средств на окружающую среду.

Однако система КФСС также имеет свои ограничения, которые включают в себя следующие аспекты:

- Сложность моделирования: Поведение человека трудно предсказать, что затрудняет создание точных моделей КФСС.

- Защита данных: Сбор и обработка данных о передвижении людей требует особого внимания к вопросам конфиденциальности.

- Интеграция различных систем: Интеграция различных сервисов ITS и других информационных систем может быть технически сложной и дорогостоящей.

- Непредсказуемые события: Некоторые события (например, дорожно-транспортные происшествия, стихийные бедствия) могут существенно повлиять на транспортные потоки и эффективность ИХ функционирования.

Использование КФСС для оптимизации транспортного обслуживания массовых мероприятий в настоящее время является инновационным подходом. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на разработку более точных моделей поведения участников:

- интеграцию данных из социальных сетей; учет психологических факторов;
- разработку моделей, учитывающих социальные взаимодействия;
- разработка гибридных моделей, сочетающих агентное моделирование с машинным обучением для более точного прогнозирования поведения транспортных потоков;
- оптимизация интеграции различных ИТ-сервисов; разработка стандартов обмена данными;
- использование технологий искусственного интеллекта;
- разработка новых сервисов для участников мероприятий; исследование этических и правовых аспектов.

Эти направления позволят создать более эффективные, безопасные и удобные транспортные системы для обслуживания массовых мероприятий. Важно отметить, что для успешной реализации этих направлений необходим междисциплинарный подход, объединяющий специалистов в области транспортного машиностроения, информационных технологий, социологии и психологии.

Выводы

Реализация кибер-физико-социальной системы с целью обеспечения транспортного обслуживания - это инновационное и перспективное направление в сфере транспортных

услуг. Комплексный подход, учитывающий взаимодействие кибернетических систем, физической инфраструктуры и социального поведения участников, позволяет добиться существенной оптимизации в области эффективности, безопасности и устойчивости транспортной системы во время проведения массовых мероприятий. Ключевыми факторами реализации КФСС являются эффективная интеграция данных из различных источников (датчики, мобильные приложения, социальные сети), использование современных методов моделирования и анализа данных, а также разработка информационных систем, удобных для использования участниками мероприятия. Особое внимание следует уделять точности поведенческих моделей участников, учитывающих как индивидуальные предпочтения, так и коллективное поведение. Результаты исследования имеют важное практическое значение для организаторов массовых мероприятий, транспортных компаний и органов местного самоуправления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Koubâa B. Andersson. A vision of cyber-physical internet // 8th International Workshop on Real-Time Networks, 2009.
2. Molina E., Jacob E. Software-defined networking incyber-physical systems: a survey // Comput Electr Eng. 2018. 66:407-419.
3. Yilma, Bereket & Panetto, Hervé & Naudet, Yannick. Systemic formalisation of Cyber-Physical-Social System (CPSS) // A systematic literature review. 2021. doi: 10.48550/arXiv.2104.05710.
4. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом. Мир транспорта. 2018. №16(2). С. 138-145.
5. Yilma B.A., Panetto H., Naudet Y. A Meta-Model of Cyber-Physical-Social System // The CPSS Paradigm to Support Human-Machine Collaboration in Industry 4.0: IFIP Advances in Information and Communication Technology. Vol. 568. 2019. P. 11–20. doi:10.1007/978-3-030-28464-0_2.
6. Zeng J., Yang L.T., Lin M. et al. A survey: cyber-physical-social systems and their system-level design-methodology // Fut Gener Comput Syst. 2020. 105:1028-1042.
7. Криволапова О.Ю. Метод определения участков перераспределения транспортной нагрузки на сети // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2013. Т. 7. №21(124). С. 77-80. EDN RPJVD.
8. Zhou J., Zhou Y.H., Wang B.C. et al. Human-cyber-physical systems (HCPSSs) in the context of new-generation intelligent manufacturing // Engineering. 2019. №5(4). P. 624-636.
9. Lee E.A. Cyber physical systems // Design challenges: 2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). 2008. P. 363-369.
10. Liu Z., Wang J. Human-cyber-physical systems: concepts, challenges, and research opportunities, Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering. №21(11). 2020. P. 1535-1553.
11. Криволапова О.Ю. Подход к оценке эффективности объектов совершенствования транспортной сети // Научное обозрение. 2014. №11-2. С. 606-608. EDN TUGDGF.
12. Зедгенизов А.В. Формирование типологии территорий / центров массового тяготения // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. 2016. №1(8). С. 76-83. EDN WABUFL.
13. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю., Караева М.Р., Костенко А.А. Повышение качества прогнозирования объемов перевозок с использованием нейронных сетей // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-3(84). С. 27-34. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-27-34. EDN SRMTUL.
14. Хань М., Зырянов В.В., Топилин И.В. Исследование алгоритма распределения дорожного движения в крупномасштабной дорожной сети на основе оптимизации распределения транспортных потоков // Мир транспорта и технологических машин. 2025. №1-1(88). С. 3-12. DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-3-12. EDN KNJLWV.
15. Левшина К.В., Васильева В.В. Влияние психофизиологических характеристик водителя на безопасность транспортных процессов // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств: Сборник научных трудов по материалам XV Международной научно-технической конференции. Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. 2020. С. 127-132. EDN JBVWRV.
16. Юнг А.А., Шевцова А.Г. Моделирование процесса движения средств индивидуальной мобильности в городской среде // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2022. №1(31). EDN RISSSM.
17. Zyryanov V. Transport planning and simulation for FIFA world cup 2018 in Rostov-on-don (Russia) // 19th Intelligent Transport Systems World Congress. Vienna. 2012. P. EU-00676. EDN SLGDDD.
18. Hou H. Effects of driving style on driver behavior // China Journal of Highway and Transport. 2018. №31(4). P. 18-27.
19. Булатова О.Ю., Зырянов В.В. Организация безопасного движения пешеходных потоков при прове-

дении городских массовых мероприятий // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2024. №2. С. 57-63. DOI 10.36535/0236-1914-2024-02-8. EDN MVJLIC.

20. Юнг А.А., Мурзина И.С., Шевцова А.Г. Анализ аварийности с участием средств индивидуальной мобильности // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств: Сборник научных трудов по материалам XVI Международной научно-технической конференции. Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. 2021. С. 23-28. EDN JKREBP.

21. Зедгенизов А.В. Оценка факторов, влияющих на продолжительность парковки возле территорий / центров массового тяготения разной функциональной направленности // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2016. №1(44). С. 20-25. EDN VSKFUP.

22. Коновалова Д.А., Булатова О.Ю. Стратегия снижения количества дорожно-транспортных происшествий путем внедрения интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-1(82). С. 93-100. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-1(82)-93-100. EDN VTEGKC.

23. Криволапова О.Ю. ОСОБЕННОСТИ Построения Архитектуры интеллектуальных транспортных систем // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. №1(24). С. 99-102. EDN OWUAOJ.

24. Novikov I., Vasilyeva V., Kravchenko A., Shevtsova A. Development of an approach to the environmental and economic assessment of the effectiveness of changing the traffic management regime // MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 334. P. 01016. DOI 10.1051/mateconf/202133401016. EDN RMOQGQ.

25. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Юнг А.А. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. №1. С. 126-134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126. EDN DBSYGJ.

Булатова Ольга Юрьевна

Донской государственный технический университет

Адрес: 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

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

E-mail: mip.rnd@yandex.ru

Зырянов Владимир Васильевич

Донской государственный технический университет

Адрес: 344003, Россия, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Организация перевозок и дорожного движения»,

E-mail: tolba@mail.ru

O.Y. BULATOVA, V.V. ZYRYANOV

**INTEGRATED TRANSPORT SYSTEM ARCHITECTURE
TAKING INTO ACCOUNT THE SOCIAL COMPONENT FOR
SERVICING URBAN MASS EVENTS**

The article considers an integrated transport system that combines cyber-physical elements (intelligent transport systems, sensors, communication networks, etc.) and a social component (behavior of participants in a mass event). This approach allows us to describe complex dynamic processes that are inefficient to analyze individually. The use of a cyber-physico-social system (CFS) for the transport services of mass events provides an in-depth analysis of the interactions between the elements of the system and the participants of the event, which allows us to develop an integrated and effective approach to transport and logistics services. This article is a study in the field of developing a conceptual architecture of a CFS for efficient transportation services for mass events.

Keywords: intelligent transport systems, cyber-physical-social systems, transportation services for mass events, road safety

BIBLIOGRAPHY

1. Kouba B. Andersson. A vision of cyber-physical internet // 8th International Workshop on Real-Time Networks, 2009.
2. Molina E., Jacob E. Software-defined networking in cyber-physical systems: a survey // Comput Electr Eng. 2018. 66:407-419.
3. Yilma, Bereket & Panetto, Herv & Naudet, Yannick. Systemic formalisation of Cyber-Physical-Social System (CPSS) // A systematic literature review. 2021. doi: 10.48550/arXiv.2104.05710.
4. Liovin B.A., TSvetkov V.YA. Kiberfizicheskie sistemy v upravlenii transportom. Mir transporta. 2018. №16(2). S. 138-145.
5. Yilma B.A., Panetto H., Naudet Y. A Meta-Model of Cyber-Physical-Social System // The CPSS Paradigm

- to Support Human-Machine Collaboration in Industry 4.0: IFIP Advances in Information and Communication Technology. Vol. 568. 2019. R. 11-20. doi:10.1007/978-3-030-28464-0_2.
6. Zeng J., Yang L.T., Lin M. et al. A survey: cyber-physical-social systems and their systemlevel design-methodology // *Fut Gener Comput Syst*. 2020. 105:1028-1042.
7. Krivolapova O.YU. Metod opredeleniya uchastkov pereraspredeleniya transportnoy nagruzki na seti // *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy*. 2013. T. 7. №21(124). S. 77-80. EDN RPJVD.
8. Zhou J., Zhou Y.H., Wang B.C. et al. Human-cyber-physical systems (HCPSs) in the context of new-generation intelligent manufacturing // *Engineering*. 2019. №5(4). R. 624-636.
9. Lee E.A. Cyber physical systems // *Design challenges: 2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*. 2008. R. 363-369.
10. Liu Z., Wang J. Human-cyber-physical systems: concepts, challenges, and research opportunities, *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*. №21(11). 2020. R. 1535-1553.
11. Krivolapova O.YU. Podkhod k otsenke effektivnosti ob"ektov sovershenstvovaniya transportnoy seti // *Nauchnoe obozrenie*. 2014. №11-2. S. 606-608. EDN TUGDGF.
12. Zedgenizov A.V. Formirovanie tipologii territoriy / tsentrov massovogo tyagoteniya // *Byulleten` nauchnykh rabot Bryanskogo filiala MIIT*. 2016. №1(8). S. 76-83. EDN WABUFL.
13. Zyryanov V.V., Semchugova E.YU., Karaeva M.R., Kostenko A.A. Povyshenie kachestva prognozirovaniya ob"emov perevozok s ispol'zovaniem neyronnykh setey // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №1-3(84). S. 27-34. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-27-34. EDN SRMTUL.
14. Han` M., Zyryanov V.V., Topilin I.V. Issledovanie algoritma raspredeleniya dorozhnogo dvizheniya v krupnomasshtabnoy dorozhnoy seti na osnove optimizatsii raspredeleniya transportnykh potokov // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2025. №1-1(88). S. 3-12. DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-3-12. EDN KNJLWV.
15. Levshina K.V., Vasil'eva V.V. Vliyaniye psikhofiziologicheskikh kharakteristik voditelya na bezopasnost` transportnykh protsessov // *Aktual'nye voprosy organizatsii avtomobil'nykh perevozok, bezopasnosti dvizheniya i ekspluatatsii transportnykh sredstv: Sbornik nauchnykh trudov po materialam XV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet imeni Gagarina YU.A. 2020. S. 127-132. EDN JBVWRV.
16. YUng A.A., Shevtsova A.G. Modelirovanie protsessa dvizheniya sredstv individual'noy mobil'nosti v gorodskoy srede // *Avtomobil`. Doroga. Infrastruktura*. 2022. №1(31). EDN RISSM.
17. Zyryanov V. Transport planning and simulation for FIFA world cup 2018 in Rostov-on-don (Russia) // *19th Intelligent Transport Systems World Congress*. Vienna. 2012. P. EU-00676. EDN SLGDDD.
18. Hou H. Effects of driving style on driver behavior // *China Journal of Highway and Transport*. 2018. №31(4). R. 18-27.
19. Bulatova O.YU., Zyryanov V.V. Organizatsiya bezopasnogo dvizheniya peshekhodnykh potokov pri prove-denii gorodskikh massovykh meropriyatiy // *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik*. 2024. №2. S. 57-63. DOI 10.36535/0236-1914-2024-02-8. EDN MVJJIC.
20. YUng A.A., Murzina I.S., Shevtsova A.G. Analiz avariynosti s uchastiem sredstv individual'noy mobil'nosti // *Aktual'nye voprosy organizatsii avtomobil'nykh perevozok, bezopasnosti dvizheniya i ekspluatatsii transportnykh sredstv: Sbornik nauchnykh trudov po materialam XVI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet imeni Gagarina YU.A. 2021. S. 23-28. EDN JKREBP.
21. Zedgenizov A.V. Otsenka faktorov, vliyayushchikh na prodolzhitel'nost` parkirovaniya vozle territoriy / tsentrov massovogo tyagoteniya raznoy funktsional'noy napravlenosti // *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2016. №1(44). S. 20-25. EDN VSKFUP.
22. Konovalova D.A., Bulatova O.YU. Strategiya snizheniya kolichestva dorozhno-transportnykh proisshestviy putem vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №3-1(82). S. 93-100. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-1(82)-93-100. EDN VTEGKC.
23. Krivolapova O.YU. OSOBNOSTI Postroeniya Arkhitektury intellektual'nykh transportnykh sistem // *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. №1(24). S. 99-102. EDN OWUAJO.
24. Novikov I., Vasilyeva V., Kravchenko A., Shevtsova A. Development of an approach to the environmental and economic assessment of the effectiveness of changing the traffic management regime // *MATEC Web of Conferences*. 2021. Vol. 334. P. 01016. DOI 10.1051/mateconf/202133401016. EDN RMOQQG.
25. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., YUng A.A. Otsenka vliyaniya parametrov avtomobiley na znachenie po-toka nasyshcheniya // *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. 2022. №1. S. 126-134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126. EDN DBSYGJ.

Bulatova Olga Yurievna
Don State Technical University
Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don
Candidate of Technical Sciences
E-mail: mip.rnd@yandex.ru

Zyryanov Vladimir
Don State Technical University
Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don
Doctor of Technical Sciences
E-mail: tolbag@mail.ru

УДК 656.025

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-138-146

М.А. КОПЫЛОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗКОЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

***Аннотация.** Научно-технический прогресс обеспечил решение многих задач по оптимизации рутинных процессов производства. Сегодня в России интенсивно развивается «рынок транспортно-логистических услуг», который также ищет пути оптимизации за счёт применения научных- технических разработок и достижений.*

Целью работы является оптимизация методов планирования и управления перевозкой крупногабаритных грузов с помощью интегрированного программного обеспечения.

Итогом работы является Прототип программного продукта, который при полной своей реализации предлагает сократить временные, трудовые издержки, при этом максимально приблизившись к заказчику за счёт демонстрации процессов и открытости предоставления информации об этапах перевозки, а также сокращения общего времени процесса.

В сфере экономики предлагаемый вариант позволит проводить анализ затрат, выбор наиболее оптимального решения с точки зрения, как транспортно-логистической компании, так и со стороны заказчика.

***Ключевые слова:** интеграция программных продуктов и информационных сервисов, перевозки крупногабаритных грузов, крупногабаритный груз*

Введение

Строительство и реконструкция производств в отраслях энергетики, нефтегазохимии, судостроении, машиностроении и прочих промышленных производств во всём мире неразрывно связаны с перевозкой технологического оборудования, часть которого относится к категории крупногабаритных грузов.

Стоимость подготовительных работ для перевозки крупногабаритного оборудования может достигать до 75 % от стоимости контракта [1].

Развитие рынка транспортно-логистических услуг повышает внутреннюю конкуренцию, которая, в свою очередь, требует от компаний анализировать и оптимизировать затраты, связанные с различными этапами перевозки.

Целью работы является оптимизация методов планирования и управления перевозкой крупногабаритных грузов с помощью интегрированного программного обеспечения.

Задача - разработка прототипа программного обеспечения, позволяющего оптимизировать методы планирования и управления перевозкой крупногабаритных грузов (далее по тексту – Архитектура платформы).

Материал и методы

Основой любого программного обеспечения всегда является методология процесса, которая учитывает труды отечественных и зарубежных учёных и практикующих специалистов. Так, например, чешские специалисты для планирования транспортной инфраструктуры по всей сети перевозочных коммуникаций в Европейском союзе, с целью проектирования мероприятий, связанных со строительством или реконструкцией перекрестков на маршрутах частой перевозки сверхнормативных и негабаритных грузов и проверки критических точек на маршруте, в своей статье [2] подробно провели исследование по определению параметров, обеспечивающих наилучшие условия для перевозки крупногабаритных грузов. Методология подбора алгоритмов движения крупногабаритных грузов представлена в научных статьях

польских и китайских авторов [3, 4]. Многие отечественные авторы описывают специфику транспортировки крупногабаритных грузов в своих работах.

Опираясь на изучение материалов о различных видах транспортировки крупногабаритных грузов, основой Архитектуры платформы предлагается сделать оптимальный выбор программного решения, учитывающий скорость доставки с минимальными издержками, исходя из характеристик транспортной системы регионов, климатических данных и прочих влияющих факторов.

Теория

Большая концентрация перевозок крупногабаритных грузов приходится на районы, удаленные от городов (районы, строящихся крупных промышленных инвестиционных объектов) [5, 6]. Регионы строительства крупных промышленных инвестпроектов характеризуются не всегда удовлетворительным состоянием дорог, а иногда и их полным отсутствием, при этом Северные районы и районы Дальнего Востока отличаются нестабильным и неблагоприятным климатом.

Учитывая вышеизложенное, с целью получения актуальных данных при составлении маршрутов в труднодоступных зонах (районы Крайнего Севера, Дальнего Востока и так далее [7]), в Архитектуру платформы необходимо интегрировать готовые программные продукты с использованием данных, полученных на основе навигационно-тематических информационных системы типа ГЛОНАСС/ GPS, сервис «Яндекс карты» [8]. Также подразумевается интеграция с онлайн - сервисами прогнозов погоды и средних статистических данных о климате.

Помимо перечисленных интеграций, в Архитектуру платформы предлагается внедрить систему расчёта рисков при выборе того или иного маршрута для перевозки крупногабаритного груза.

Отдельное внимание при расчётах уделено различным коэффициентам, также влияющим на время и стоимость перевозки крупногабаритного груза: коэффициент загруженности дорог [9], коэффициент видимости на дороге, коэффициент использования грузоподъемности и так далее.

Алгоритм работы Архитектуры платформы основан на проведении поэтапного отбора «лучшего результата» в процессе подготовительных работ, предшествующих осуществлению непосредственно перевозочному процессу. Алгоритм настроен на оптимальный выбор, исходя из запросов заказчика грузоперевозки и реальных возможностей её проведения.

Итоговый маршрут разрабатывается с помощью различных математических моделей [9, 10].

Результаты и обсуждение

1) Итоговый результат («Отчёт») Архитектура платформы формирует на основе внутрипрограммных расчётов и данных, которые уже были заданы как «условие» специалистом;

2) Изначально заполняются физико - химические свойства груза, на основе этих данных Архитектура платформы начинает свою работу, используя интеграцию с информационными сервисами, содержащими стандартные классификаторы (классификатор грузов ЕТСНГ, ГНГ и так далее).

3) Затем, в соответствии с пунктом назначения, работает часть Архитектуры платформы, определяющая транспортную сеть в указанных регионах (данные поступают через интеграцию с информационными базами, содержащими классификаторы железнодорожных станций, таможни и прочего).

4) При совершенствовании Архитектуры платформы планируется учитывать и физическое качество дорожного покрытия, поскольку оно может также повлиять на качество и скорость перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов, а иногда может быть просто непригодным для такого рода перевозок [11].

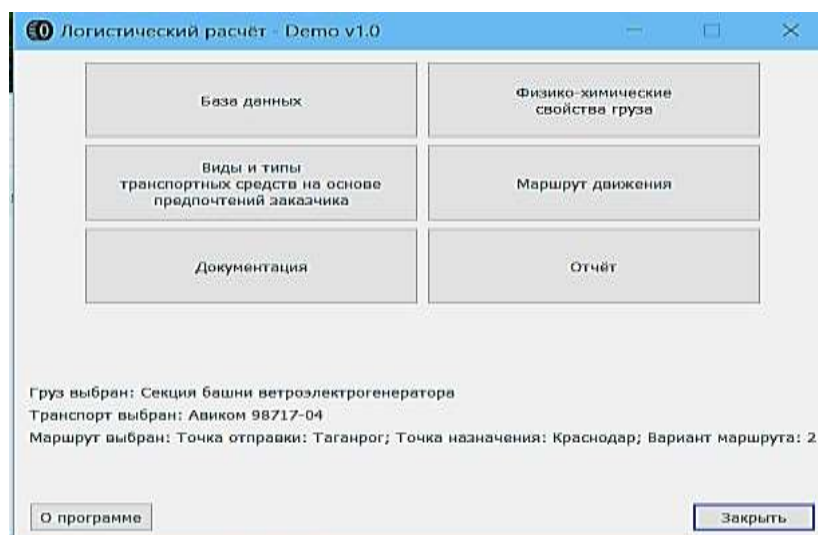


Рисунок 1 - Разделы Архитектуры платформы

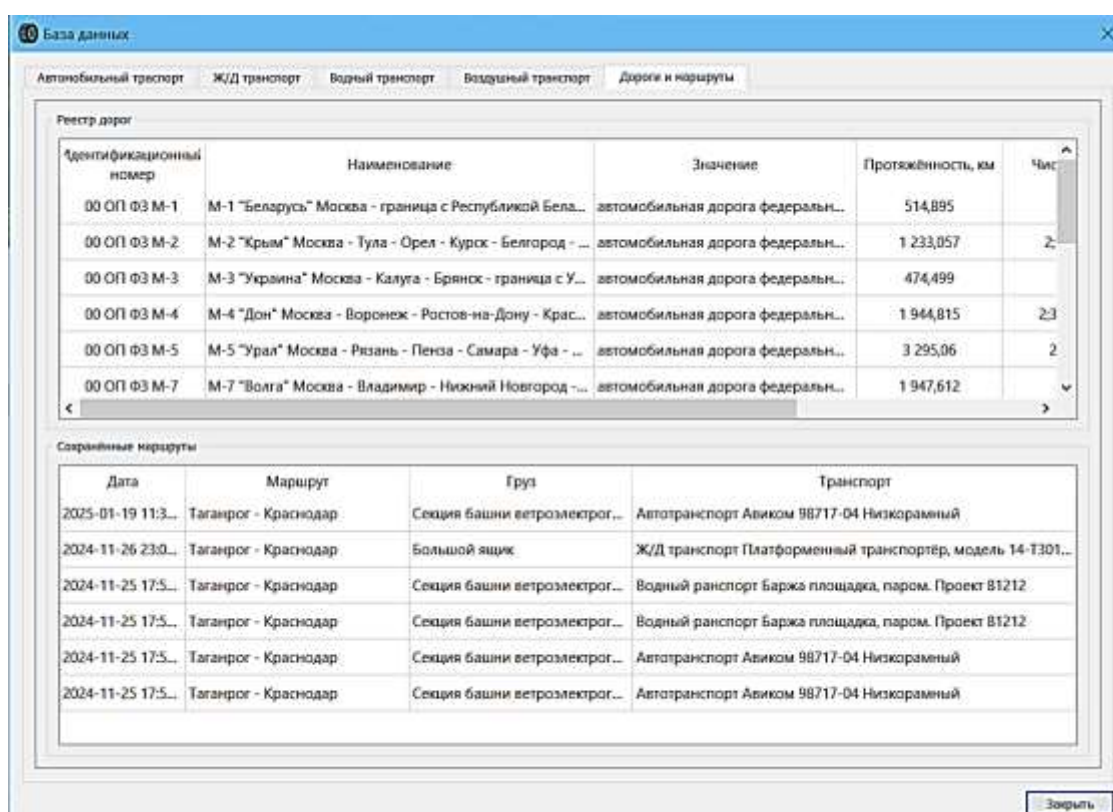


Рисунок 2 - «Окно» (фрейм) подраздела «Дороги и маршруты» в модуле «База данных»

5) При подборе транспортного средства [12] учитываются транспортные характеристики груза, а также синхронно происходит расчёт коэффициентов использования грузоподъёмности и грузовместимости:

$$\gamma = \frac{Q}{q}, \quad (1)$$

где γ - коэффициент использования грузоподъёмности;

Q – вес груза, т;

q – грузоподъёмность транспортного средства, т;

$$K = \frac{W}{w}, \quad (2)$$

где K – коэффициент грузовместимости;

W - объём погружённого груза, м^3 ;

w - грузоподъемность транспортного средства, м^3 .

В зависимости от партии груза также рассчитывается количество транспортных средств. Архитектура платформы использует следующие формулы для расчёта:

$$n_a = \frac{J * t_p}{D * t_z}, \quad (3)$$

где n_a - необходимое количество автомобилей;

J - суточный грузооборот, т;

t_p - продолжительность кругового рейса машины, ч.;

D - нагрузка автомобиля, т;

t_z - время работы машины в течение суток, ч.

Продолжительность кругового рейса (t_p) определяется по формуле:

$$t_p = t_{\text{дв.}} + t_{\text{сп.}} + t_{\text{св.}} = \frac{2S}{V} + t_{\text{сп.}} + t_{\text{пр.}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{дв.}}$ - время движения, час;

$t_{\text{сп.}}$ - время стоянки в пункте погрузки, ч.;

$t_{\text{св.}}$ - время стоянки в пункте выгрузки, ч.;

S - расстояние перевозки, км;

V - скорость движения автомобиля, км/ч;

$t_{\text{пр.}}$ - время на прочие конечные операции, ч.

б) В модуле «Маршрут движения» предлагается использовать данные, полученные, в том числе, на основе навигационно-тематических информационных системы (сервис «Яндекс Карты», ГЛОНАСС/GPS) [4], а также математические модели для линейного и нелинейного программирования, построенные с учётом этих данных.

Интеграция с готовыми информационными системами поможет сократить издержки на приобретение, обслуживание серверного оборудования, а также создание и обновление баз данных большого размера (например, сервис «Яндекс Карты» для поддержания актуальности своих данных обновляются несколько раз в неделю, являясь самыми точными картами на территории России. Конкурировать логистической компании или любой организации с таким программным продуктом очень сложно, затратно и нецелесообразно).

Сегодня информационные системы обмениваются данными с помощью передачи файлов определенного формата. Информационная Архитектура платформы может загрузить необходимый файл на FTP(FTPS)-сервер [13], после чего Архитектура платформы обрабатывает его, находит необходимую информацию и загружает «в себя».

Обмениваться данными можно и при помощи Application Programming Interface (API). В этом случае предоставляется определенный набор команд, подпрограмм и инструментов для того, чтобы быстро извлекать и обмениваться информацией между программными приложениями [14].

Также существуют различные облачные сервисы, которые позволяют работать с файлами до нескольких гигабайт [15].

В модуле «Маршрут движения» помимо интегрированных данных аккумулируются расчётные данные.

Для расчётов общего времени грузоперевозки в Архитектуру платформы вводится следующая формула:

$$T_{\text{ж}} = t_{\text{нак.}} + t_o + t_{\text{дв.}} + t_{\text{доп.}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{ж}}$ - срок доставки грузов, сут.;

$t_{\text{нак.}}$ - норма времени на погрузку груза;

t_o - норма времени на отправку и прибытие грузов;

$t_{\text{дв.}}$ - время нахождения груза в движении;

$t_{\text{доп.}}$ - норма времени на дополнительные операции.

Норма времени на нахождение грузов в движении ($t_{\text{дв.}}$) определяется по формуле:

$$t_{\text{дв.}} = \frac{S}{V}, \quad (6)$$

где S - расстояние перевозки, км;

V - нормативная скорость доставки грузов, км/ч.

Для более точного расчёта времени перевозки (на основе собранных данных на сервисе «Яндекс карты»), в Архитектуре платформы возможно сформировать статистическим методом коэффициент загруженности дорог в соответствии со временем и местом прохождения транспортного средства по маршруту).

Сводные данные и предварительные расчёты формируют математические модели программирования, которые применяются в рамках ситуационных задач [16]: например, находится максимум или минимум линейной функции.

Каждая из этих задач является частным случаем общей задачи линейного программирования [17, 18], имеющей следующий вид:

$$F = \sum_{i=1}^n c_i * x_i \quad (7)$$

при условиях (ограничения конкретной задачи)

$$\sum_{i=1}^n a_{iy} * x_i \leq b_y (\gamma = \overline{1, k}); \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n a_{iy} * x_i = b_y (\gamma = \overline{k + 1, m}); \quad (9)$$

$$x_i \geq 0 (i = \overline{1, l}, l \leq n),$$

где a_{iy} , b_y , c_i - заданные постоянные величины и $k \leq m$.

Вариант, при котором функция принимает свое максимальное (минимальное) значение является оптимальным.

Итогом работы в данном разделе является графическое отображение маршрута в Архитектуре платформы (рис. 3, 4).

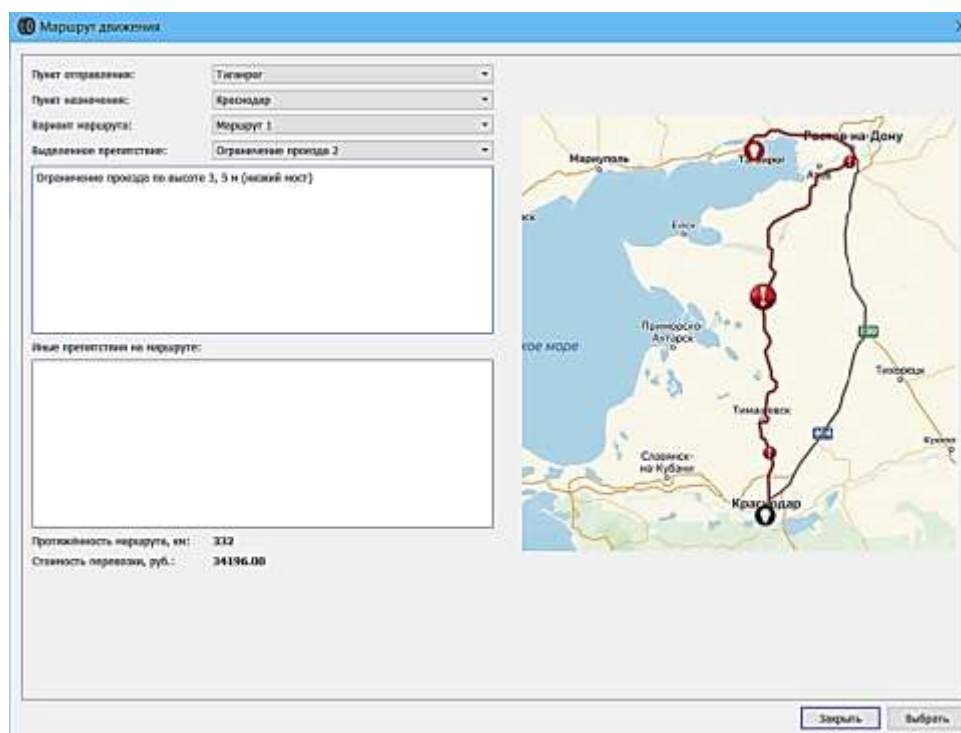


Рисунок 3 - Выбор первого маршрута и рассмотрение второго на маршруте препятствия

Примером автоматизации выбора наилучшего маршрута может стать исследование выбора городских маршрутов перевозки крупногабаритных грузов с использованием для

конкретных расчётов метода «Оптимизации веса и комбинации». Техника предпочтения порядка по сходству с идеальным решением. Данный метод рассматривается в статье «An Optimization Route Selection Method of Urban Oversize Cargo Transportation» [4], написанной китайскими специалистами.

В научной статье «Optimized Route Selection Method based on the Turns of Road Intersections: A Case Study on Oversized Cargo Transportation» [19] также авторов из Китая, говорится о том, что для перевозки крупногабаритных грузов большинство имеющихся схем перевозки учитывают в основном только длину и ширину дороги, эти данные рассматриваются, как одни из основных величины, участвующих в расчёте стоимости перевозки. В статье отмечается, что направление поворотов при движении крупногабаритного груза также имеет большое значение и имеет большое значение для выбора маршрута. Авторы статьи провели сравнительный анализ маршрутов, построенных стандартным способом и своим способом, учитывающим направления поворота при движении.

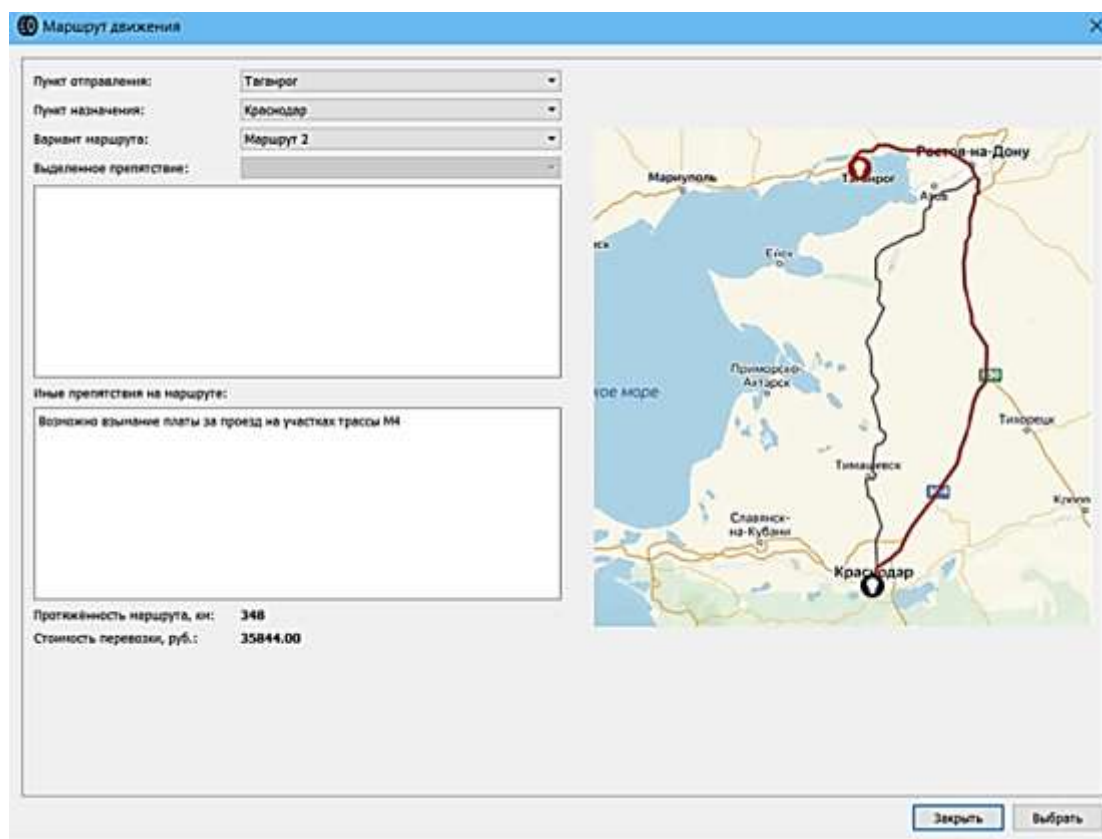


Рисунок 4 - Выбор второго маршрута (маршрут без препятствий)

4. Модуль «Документация» сокращает временные издержки на формирование необходимого пакета документов: Архитектура платформы выводит на экран «ссылки» на документы (в редактируемом формате), необходимые для заполнения при выборе того или иного транспорта и маршрута, которые были определены ранее.

При полной реализации Архитектуры платформы некоторые документы уже будут заполнены автоматически данными введенными на предыдущих этапах. Например, при указании массы груза в разделе «Физико-химические свойства груза» эти данные автоматически попадают и вписываются в соответствующий документ в разделе «Документы», что позволяет сократить время на оформление документации. Также данный раздел будет содержать заполненные реквизиты заказчика.

Пример модуля выглядят следующим образом:

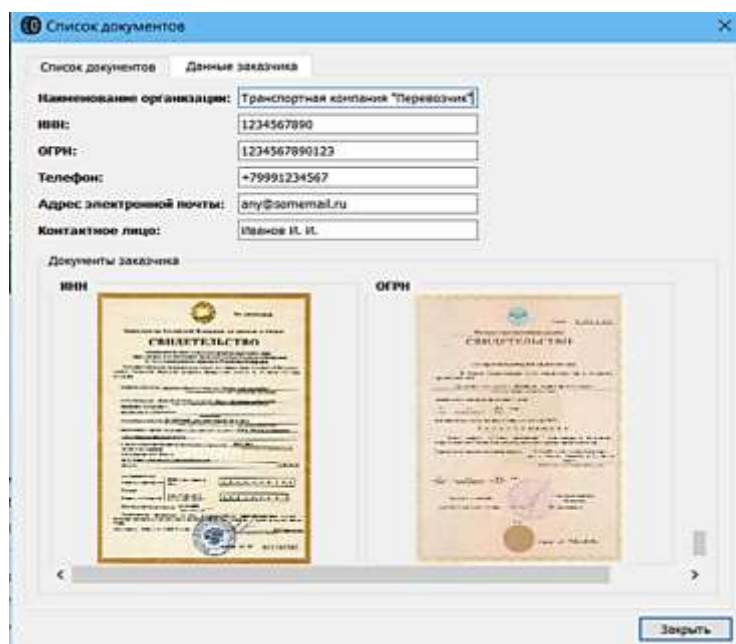


Рисунок 5 - Данные заказчика в Архитектуре платформы

С развитием Архитектуры платформы возможна интеграция с ГИС ЭПД [20], таможенных органов, государственными и муниципальными органами [21].

Выводы

1. Архитектура платформы аккумулирует узкоспецифичные данные, необходимые для организации перевозки крупногабаритных грузов.
2. Обширный функционал Архитектуры платформы решает рутинные задачи транспортно-логистических компаний и существенно ускоряет большинство стандартных операций по заполнению документации, подбору необходимых данных.
3. Интеграция Архитектуры платформы с информационно-навигационными системами позволяет синхронизировать многие процессы и получать информацию в разных срезах данных.
4. Сбор аналитики перед и в процессе перевозки груза, а также расчёт большого количества показателей даёт возможность анализа и оптимизации расходов.
5. Возможность интегрировать большое количество сервисов в Архитектуру платформы обеспечивает снижение издержек на сервисное обслуживание большого количества узкоориентированных программных продуктов и их администрирование, обеспечивает единое информационное поле для сотрудников транспортно-логистических компаний, сокращает временные издержки на ведение процессов в разных программных продуктах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тропин С.Л., Кукушкин И.Г. Направления развития нормативной базы перевозок крупногабаритных тяжеловесных грузов // Стандарты и качество. 2019. №9. С. 94-96. EDN NHMAJU.
2. Jan Petru, Vladislav Krivda. /The Transport of Oversized Cargoes from the Perspective of Sustainable Transport Infrastructure in Cities [Электронный ресурс] / Journal of Sustainability. 2021, 13, 5524. URL: https://www.researchgate.net/publication/351627662_The_Transport_of_Oversized_Cargoes_from_the_Perspective_of.
3. Anna E. Wolnowska, Wojciech Konicki. Multi-criterial analysis of oversize cargo transport through the city, using the AHP method [Электронный ресурс] / Transportation Research Procedia. 2019. 39(41). 614-623. URL: https://www.researchgate.net/publication/334427533_Multi-criterial_analysis_of_oversize_cargo_transport_throu.
4. Da Huang, Mei Han. An Optimization Route Selection Method of Urban Oversize Cargo Transportation/ [Электронный ресурс] / Applied Sciences. 2021. 11(5). 2213. URL: https://www.researchgate.net/publication/349788745_An_Optimization_Route_Selection_Method_of_Urban_Over.
5. Самые крупные инвестиционные проекты в регионах России [Электронный ресурс] / Информационный портал - ТАСС - 09.06.2024. URL: <https://tass.ru/ekonomika/21054055>.
6. Инвестиционные проекты России и СНГ/ [Электронный ресурс] / Цифровая платформа инвестици-

онных проектов, реализуемых в России и странах ЕАЭС – 2025. URL: <https://investprojects.info/>.

7. 30 крупнейших инвестиционных проектов, реализуемых в России [Электронный ресурс] / Вестник экономики евразийского союза - 18.10.2021. URL: <https://eurasianmagazine.ru/ratings/30-krupneyshikh-investitsionnykh-proektov-realizuyemykh-v-rossii/>.

8. Бушуев М.В., Красицкая С.И., Федорова Н.В. Система ГЛОНАСС и ее применение сервисом Яндекс.пробки // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2015. Т. 2. №11. С. 284-286. EDN VSCOLN.

9. Биглова А.Д. Введение коэффициента загруженности дорог для составления математической модели построения оптимального маршрута на примере города Уфы // Достижения науки и образования. 2018. Т. 1. №7(29). С. 15-17. EDN URLGHS.

10. Имитационное моделирование / Аверилл М. Лоу, В. Дэвид Кельтон. 3-е изд. СПб.: Питер, 2004. 846 с.

11. Darius Bazaras, Batarlienė Nijolė, Ramūnas Palšaitis, Artūras Petraška / Optimal Road Route Selection Criteria System for Oversize Goods Transportation [Электронный ресурс] / The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 2013. №8(1). Р. 19-24 / URL: https://www.researchgate.net/publication/269976330_Optimal_Road.

12. Основные показатели функционирования транспорта [Электронный ресурс] / Образовательный портал «Справочник». 2017. URL: https://spravochnik.ru/logistika/transportnaya_logistika_suschnost_i.

13. Рожнов А. FTP-сервер: что это, зачем он нужен и как с ним работать [Электронный ресурс] / Электронный портал «Роксис информационные системы». 2024. URL: <https://www.roksis.ru/articles/ftp-server-cto-eto-zachem-on-nuzhen-i-kak-s-nim-rabotat/>.

14. Кучерявый Е. Что такое API и как он работает [Электронный ресурс] / Электронный портал «Skill box». 2024. URL: https://skillbox.ru/media/code/cto_takoe_api/.

15. Интеграция хостинга с облачными сервисами [Электронный ресурс] / 2025. URL: <https://rating-gamedev.ru/blog/integraciia-xostinga-s-oblacnymi-servisami?ysclid=m8trlni0b0124293193>

16. Ким Е.Р., Шукаев Д.Н., Исмаилова Р.Т., Бимурат Ж. Имитационная система анализа эффективных маршрутов на основе комплекса математических моделей организации перевозок // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2023. №2(61). С. 115-126. DOI 10.51775/2790-0886_2023_61_2_115. EDN WJYTDO.

17. Акулич И.Л. А 44 Математическое программирование в примерах и задачах: Учеб, пособие для студентов эконом, спец.вузов. М.: Высш. шк., 1986. 319 с.

18. Лиманова Н.И., Иваев М.И., Голикова Н.В. Математическая модель оптимизации маршрутов в логистике // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024: Материалы XXVI Международной научно-технической конференции. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. С. 258-259. EDN ANBGSD.

19. Lingkui Meng, Zhenghua Hu, Changqing Huang, Wen Zhang. Optimized Route Selection Method based on the Turns of Road [Электронный ресурс] / 2015. Intersections: A Case Study on Oversized Cargo Transportation №4(4). Р. 2428-2445. URL: https://www.researchgate.net/publication/283683622_Optimized_Route_Selection_Meth.

20. Интеграция ваших систем для работы с электронными перевозочными документами [Электронный ресурс] / Логистический сервис. URL: <https://dropcat.ru/integration>.

21. Транспортные документы [Электронный ресурс] / Официальный сайт Компании «Содействие Про». 2025. URL: <https://sodpro.ru/product/transportnye-dokumenty/>

Копылов Максим Алексеевич

Донской государственный технический университет

Адрес: 344003, Россия, г. Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, д. 1

Аспирант, специалист по учебно-методической работе (отдел магистратуры)

E-mail: dorothej@mail.ru

M.A. KOPYLOV

OPTIMIZATION OF PLANNING AND MANAGEMENT METHODS FOR THE TRANSPORTATION OF BULKY GOODS USING INTEGRATED SOFTWARE

Abstract. *Scientific and technological progress has provided solutions to many problems of optimizing routine production processes. Today, the «transport and logistics services market» is intensively developing in Russia, which is also looking for ways to optimize through the use of scientific and technical developments and achievements.*

The aim of the work is to optimize the methods of planning and managing the transportation of bulky goods using integrated software.

The result of the work is a Prototype software product, which, when fully implemented, offers to reduce time and labor costs, while getting as close to the customer as possible by demonstrating processes and openly providing information about the stages of transportation, as well as reducing the total process time.

In the field of economics, the proposed option will allow for cost analysis, choosing the most optimal solution from the point of view of both the transport and logistics company and the customer.

Keywords: integration of software products and information services, transportation of large-sized cargo, large-sized cargo

BIBLIOGRAPHY

1. Tropin S.L., Kukushkin I.G. Napravleniya razvitiya normativnoy bazy perevozok krupnogabaritnykh tyazhelovesnykh грузов // Standarty i kachestvo. 2019. №9. S. 94-96. EDN NHMAJU.
2. Jan Petru, Vladislav Krivda. /The Transport of Oversized Cargoes from the Perspective of Sustainable Transport Infrastructure in Cities [Elektronnyy resurs] / Journal of Sustainability. 2021, 13, 5524. URL: https://www.researchgate.net/publication/351627662_The_Transport_of_Oversized_Cargoes_from_the_Perspective_of.
3. Anna E. Wolnawska, Wojciech Konicki. Multi-criterial analysis of oversize cargo transport through the city, using the AHP method [Elektronnyy resurs] / Transportation Research Procedia. 2019. 39(41). 614-623. URL: https://www.researchgate.net/publication/334427533_Multi-criterial_analysis_of_oversize_cargo_transport_throu.
4. Da Huang, Mei Han. An Optimization Route Selection Method of Urban Oversize Cargo Transportation/ [Elektronnyy resurs] / Applied Sciences. 2021. 11(5). 2213. URL: https://www.researchgate.net/publication/349788745_An_Optimization_Route_Selection_Method_of_Urban_Over.
5. Samye krupnye investitsionnye proekty v regionakh Rossii [Elektronnyy resurs] / Informatsionnyy portal - TASS - 09.06.2024. URL: <https://tass.ru/ekonomika/21054055>.
6. Investitsionnye proekty Rossii i SNG/ [Elektronnyy resurs] / Tsifrovaya platforma investitsionnykh proektov, realizuemykh v Rossii i stranakh EAES - 2025. URL: <https://investprojects.info/>.
7. 30 krupneyshikh investitsionnykh proektov, realizuemykh v Rossii [Elektronnyy resurs] / Vestnik ekonomiki evraziyskogo soyuza - 18.10.2021. URL: <https://eurasianmagazine.ru/ratings/30-krupneyshikh-investitsionnykh-proektov-realizuemykh-v-rossii/>.
8. Bushuev M.V., Krasitskaya S.I., Fedorova N.V. Sistema GLONASS i ee primeneniye servisom YAn-deks.probki // Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики. 2015. T. 2. №11. S. 284-286. EDN VSCOLN.
9. Biglova A.D. Vvedeniye koeffitsienta zagruzhenosti dorog dlya sostavleniya matematicheskoy modeli postroyeniya optimal'nogo marshruta na primere goroda Ufy // Dostizheniya nauki i obrazovaniya. 2018. T. 1. №7(29). S. 15-17. EDN URLGHS.
10. Imitatsionnoye modelirovaniye / Averill M. Lou, V. Devid Kel'ton. 3-e izd. SPb.: Piter, 2004. 846 s.
11. Darius Bazaras, Batarlien? Nijole, Ram?nas Pal?aitis, Art?ras Petra?ka / Optimal Road Route Selection Criteria System for Oversize Goods Transportation [Elektronnyy resurs] / The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 2013. №8(1). R. 19-24 / URL: https://www.researchgate.net/publication/269976330_Optimal_Road.
12. Osnovnye pokazateli funktsionirovaniya transporta [Elektronnyy resurs] / Obrazovatel'nyy portal "Spravochnik". 2017. URL: https://spravochnik.ru/logistika/transportnaya_logistika_suschnost_i.
13. Rozhnov A. FTP-server: chto eto, zachem on nuzhen i kak s nim rabotat' [Elektronnyy resurs] / Elektronnyy portal "Roksis informatsionnye sistemy". 2024. URL: <https://www.roksis.ru/articles/ftp-server-chto-eto-zachem-on-nuzhen-i-kak-s-nim-rabotat/>.
14. Kucheryavyy E. Chto takoe API i kak on rabotaet [Elektronnyy resurs] / Elektronnyy portal "Skill box". 2024. URL: https://skillbox.ru/media/code/chto_takoe_api/.
15. Integratsiya khostinga s oblacnymi servisami [Elektronnyy resurs] / 2025. URL: <https://rating-gamedev.ru/blog/integraciya-xostinga-s-oblacnymi-servisami?ysclid=m8trlni0b0124293193>
16. Kim E.R., Shukaev D.N., Ismailova R.T., Bimurat ZH. Imitatsionnaya sistema analiza effektivnykh marshrutov na osnove kompleksa matematicheskikh modeley organizatsii perevozok // Vestnik Almatinskogo universiteta energetiki i svyazi. 2023. №2(61). S. 115-126. DOI 10.51775/2790-0886_2023_61_2_115. EDN WJYTD0.
17. Akulich I.L. A 44 Matematicheskoe programmirovaniye v primerakh i zadachakh: Ucheb, posobie dlya studentov ekonom, spets,vuzov. M.: Vyssh. shk., 1986. 319 s.
18. Limanova N.I., Ivaev M.I., Golikova N.V. Matematicheskaya model' optimizatsii marshrutov v logistike // VII nauchnyy forum telekommunikatsii: Teoriya i tekhnologii TTT-2024: Materialy XXVI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Samara: Povolzhskiy gosudarstvennyy universitet telekommunikatsiy i informatiki, 2024. S. 258-259. EDN AHBGSD.
19. Lingui Meng, Zhenghua Hu, Changqing Huang, Wen Zhang. Optimized Route Selection Method based on the Turns of Road [Elektronnyy resurs] / 2015. Intersections: A Case Study on Oversized Cargo Transportation №4(4). R. 2428-2445. URL: https://www.researchgate.net/publication/283683622_Optimized_Route_Selection_Meth.
20. Integratsiya vashikh sistem dlya raboty s elektronnyimi perevoznymi dokumentami [Elektronnyy resurs] / Logisticheskoy servis. URL: <https://dropcat.ru/integration>.
21. Transportnye dokumenty [Elektronnyy resurs] / Ofitsial'nyy sayt Kompanii "Sodeystvie Pro". 2025. URL: <https://sodpro.ru/product/transportnye-dokumenty/>

Kopylov Maxim Alekseevich

Don State Technical University

Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1

Postgraduate student

E-mail: dorothej@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;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

Введение

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

Материал и методы

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылаетесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

Теория / расчет

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

Результаты

Результаты должны быть четкими и краткими.

Обсуждение

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

Выводы

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - применять произвольные словообразования;
 - применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и сверху - 2 см.

Обязательные элементы:

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

- **аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

- **ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

- **список литературы** должен содержать 15-20 источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строки, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:
Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)
Учреждение или организация
Адрес
Ученая степень, ученое звание, должность
Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Пример оформления формулы в тексте

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 (1 + \frac{1}{2\alpha}) / d, \quad (1)$$

где $\alpha = 1 + 2a/b$ - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$ - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате *.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

Рисунок 1 - Текст подписи

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

Таблицы должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
Тел.: (4862) 75-13-18
www.oreluniver.ru.
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77
Тел.+7 905 856 6556
www.oreluniver.ru.
E-mail: srmostu@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 25.06.2025 г.
Дата выхода в свет 17.07.2025 г.
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,3
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 120

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95