

ISSN 2073-7432

# **МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**№ 1-1(88) 2025**

Научно-технический  
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 1-1(88) 2025

# Мир транспорта и технологических машин

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

Главный редактор:

Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Васильева В.В. канд. техн. наук, доц.

Родимцев С.А. д-р техн. наук, доц.

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)

Ответственный за выпуск: Акимочкина И.В.

Адрес редколлегии:

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

ул. Московская, 77

Тел. +79058566556

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

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

Зарегистрировано в Федеральной службе по  
надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций  
(Роскомнадзор).  
Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.

Подписной индекс: 16376

по объединенному каталогу «Пресса России»  
на сайтах [www.ppressa-rg.ru](http://www.ppressa-rg.ru) и [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева,  
2025

## Содержание

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте	
М. Хань, В.В. Зырянов, И.В. Топилин Исследование алгоритма распределения дорожного движения в крупномасштабной дорожной сети на основе оптимизации распределения транспортных потоков	3
И.Н. Пугачев, В.С. Тормозов Многовидовая пространственно-временная свертка для прогнозирования транспортных потоков: подход к повышению точности и эффективности	13
Ц. Ван, О.Ю. Булатова, Х. Цзянг Определение современных подходов к управлению транспортной инфраструктурой на примере опыта Китая	21
В.П. Белокуров, Е.А. Панявина, Э.Н. Бусарин, Р.А. Кораблев Экономические механизмы в эффективном управлении по совершенствованию организации пассажирских перевозок	29
Управление процессами перевозок	
С.А. Жесткова Моделирование транспортно-логистических процессов сетевой доставки автомобильным транспортом	36
С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евренова Особенности структуры пригородного пассажиропотока мультимодальных перевозок	43
Эксплуатация автомобильного транспорта	
Е.И. Лежнева, Н.А. Загородний, А.С. Семькина Исследование транспортного шума и обоснование размещения инженерной конструкции на примыкательной территории	49
А.В. Горин, И.В. Родичева, А.Д. Серебренников, К.В. Васильев Контроль состояния подшипниковых узлов транспортного средства при воздействии инерционного гасителя	59
А.Ю. Родичев Методика предиктивного анализа остаточного ресурса подшипниковых узлов скольжения балансирной подвески автомобиля КАМАЗ	67
И.Ф. Дьяков, Ю.В. Моисеев, В.И. Дьяков Параметрический анализ подрессоренной массы транспортного средства	76
В.В. Сиваков, С.Е. Прокопович, И.Ю. Адамович Совершенствование организации транспортных потоков и ландшафтное проектирование	83
А.А. Зернов, С.А. Гусев Увеличение рабочего ресурса двигателя внутреннего сгорания путем введения маслорастворимых модификаторов трения	92
Интеллектуальные транспортные системы	
Д.В. Капский, С.В. Богданович, А.Н. Чернюк Анализ ошибок водителей как основной причины ДТП	100
О.А. Иванов, А.А. Титоренко, А.А. Романов, И.В. Родичева ИИ-ассистент для адаптации IT-специалистов в сфере итс: вопросы актуальности, архитектуры, безопасности и этики в условиях цифровизации транспортной отрасли	111
А.В. Куликов, А.А. Вальковская, А.А. Куликов Использование средств телематики в транспортно-пересадочных узлах и терминалах единой умной транспортной системы пассажирских перевозок в городах-миллионниках	121
Логистические транспортные системы	
Т.Е. Мельникова, С.Е. Мельников, Е.А. Лапиов Перспективы использования блокчейна в технологиях транспортно-логистических операций	131
А.Н. Новиков, А.В. Стеценко Цифровая трансформация транспортно-логистических процессов «Почта России»	138

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

# World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 1-1(88) 2025

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

<b>Editor-in-Chief</b> <b>A.N. Novikov</b> Doc.Eng., Prof	<b>Contents</b>
<b>Associates Editor</b> <b>V.V. Vasileva</b> Can. Eng. <b>S.A. Rodimzev</b> Doc. Eng.	<i>Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport</i>
<b>Editorial Board:</b> <b>E.V. Ageev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>I.E. Agureev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>V.N. Baskov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>V.M. Vlasov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>S.N. Glagolev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>M. Demic</b> Doc. Eng., Prof. (Serbia) <b>A.S. Denisov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>S.A. Evtyukov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>L. Żakowska</b> Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland) <b>S.V. Zhankaziev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>N.S. Zaharov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>V.V. Zyryanov</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>T.Y. Matkerimov</b> Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan) <b>O. Prentkovskis</b> Doc. Eng., Prof. (Lithuania) <b>P. Pribyl</b> Doc. Eng., Prof. (Czech Republic) <b>I.N. Pugachev</b> Doc. Eng. (Russia) <b>A.E. Pushkarev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>V.I. Rassoha</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>A.N. Rementsov</b> Doc. Edc., Prof. (Russia) <b>Yu.N. Rizaeva</b> Doc. Eng. (Russia) <b>V.I. Sarbaev</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>Yu.V. Trofimenko</b> Doc. Eng., Prof. (Russia) <b>L.S. Trofimova</b> Doc. Eng. (Russia) <b>A. Szarata</b> Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)	<i>M. Han, V.V. Zyryanov, I.V. Topilin Research on the algorithm of traffic distribution in large-scale road network based on optimization of traffic flow distribution..... 3</i> <i>I.N. Pugachev, V.S. Tormozov Multi-view spatial-temporal convolution for traffic flow forecasting: an approach to improve accuracy and efficiency..... 13</i> <i>W. Zehai, O. Yu. Bulatova, H. Jiang Transport infrastructure management modern approaches defining using the example of China's experience..... 21</i> <i>V.P. Belokurov, E.A. Panyavina, E.N. Busarin, R.A. Korablyov Economic mechanisms in effective management to improve the organization of passenger transportation..... 29</i>
<b>Person in charge for publication:</b> <b>I.V. Akimochkina</b>	<i>Management of transportation processes</i>
<b>Editorial Board Address:</b> 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 <a href="https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm">https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm</a> E-mail: <a href="mailto:srmostu@mail.ru">srmostu@mail.ru</a>	<i>S.A. Zhestkova Modeling of transport and logistics processes of network delivery by road..... 36</i> <i>S.P. Vakulenko, N.Yu. Evreenova Features of the structure of the suburban passenger traffic of multimodal transport..... 43</i>
The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФС77- 67027 of August 30 2016	<i>Operation of motor transport</i>
Subscription index: <b>16376</b> in a union catalog «The Press of Russia» on <a href="http://siteswww.pressa-rf.ru">siteswww.pressa-rf.ru</a> and <a href="http://www.akc.ru">www.akc.ru</a>	<i>E.I. Lezhneva, N.A. Zagorodny, A.S. Semykina Investigation of traffic noise and justifi- cation of the placement of engineering structures on the mainline territory..... 49</i> <i>A.V. Gorin, I.V. Rodicheva, A.D. Serebrennikov, K.V. Vasiliev Control of the condition of bearing units of the vehicle under the impact of inertial damper..... 59</i> <i>A.Yu. Rodichev Method of predictive analysis of the residual life of bearing units of sliding balance suspension of the kamaz vehicle..... 67</i> <i>I.F. Dyakov, Y.V. Moiseev, V.I. Dyakov Parametric analysis of the vehicle surrender mass..... 76</i> <i>V.V. Sivakov, S.E. Prokopovich, I.Yu. Adamovich Improving the organization of traffic flows and landscape design..... 83</i> <i>A.A. Zernov, S.A. Gusev Increase in the working life of an internal combustion engine by introducing oil-soluble friction modifiers..... 92</i>
© Registration. Orel State University, 2025	<i>Intelligent transport systems</i>
	<i>D.V. Kapski, S.V. Bogdanovich, A.N. Czerniuk Analysis of driver errors as the primary cause of road traffic accidents..... 100</i> <i>O.A. Ivanov, A.A. Titorenko, A.A. Romanov, I.V. Rodicheva Ai assistant for the adapta- tion of it specialists in the its field: issues of relevance, architecture, security, and ethics in the context of digitalization in the transport sector..... 111</i> <i>A.V. Kulikov, A.A. Valkovskaya, A.A. Kulikov The use of telematics tools in transport hubs and terminals of the unified smart passenger transportation system in the cities of millions..... 121</i>
	<i>Logistic transport systems</i>
	<i>T.E. Melnikova, S.E. Melnikov, E.A. Lapshov Prospects of the usage of blockchain in technologies of transport and logistics operations..... 131</i> <i>A.N. Novikov, A.V. Stetsenko Digital transformation of transport and logistics process- es of the Russian post..... 138</i>

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

---

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

---

Научная статья

УДК 656.11

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-3-12

М. ХАНЬ, В.В. ЗЫРЯНОВ, И.В. ТОПИЛИН

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В КРУПНОМАСШТАБНОЙ  
ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

**Аннотация.** В статье предлагается алгоритм распределения транспортных потоков для решения проблемы низкой скорости и эффективности традиционных алгоритмов распределения трафика в условиях ограничений многопутевой пропускной способности крупномасштабных дорожных сетей. Алгоритм ускоряет процесс распределения за счет слияния заявок на трафик от одних и тех же конечных точек и распределения объединенных заявок на трафик. При этом алгоритм обновляет сопротивление потока, разбивая матрицу корреспонденций на  $k$  подматриц и выполняя  $k$  итераций распределения, что динамически корректирует влияние изменений потока на сопротивление потока и обеспечивает точные результаты. Анализ примеров показывает, что усовершенствованный метод эффективен в сложных дорожных сетях.

**Ключевые слова:** распределение дорожного движения, метод многопутевого ограничения пропускной способности, алгоритм распределения транспортных потоков, крупномасштабная дорожная сеть, дорожное сопротивление

**Введение**

Четырехфазный подход к планированию дорожного движения в настоящее время является наиболее широко используемой моделью планирования дорожного движения в мире. Распределение дорожных движений, как последний этап четырехфазного метода планирования движения, распределяет матрицу корреспонденций, полученных на первых трех этапах, по дорожной сети, и результаты распределения движения могут быть использованы в качестве количественной основы для лиц, принимающих решения, для разработки соответствующих мер по контролю и управлению дорожным движением [1].

В области планирования и управления дорожным движением был достигнут значительный прогресс в изучении проблем динамического распределения дорожного движения. Вначале исследования в основном были направлены на описание проблемы распределения динамических транспортных потоков с помощью статических моделей. Ukkusuri и Waller [4] исследовали проблему динамического проектирования сети с точки зрения оптимальности пользователя и системы с помощью методов линейного программирования. Friesz и другие [5] предложили новую математическую модель для рассмотрения проблемы распределения дорожного движения в динамической сети как задачи оптимального управления с непрерывным временем и разработали соответствующий метод решения. Хуалин Рен и Зийю Гао [7] исследовали дискретную модель вариационного неравенства (VI) в динамическом распределении дорожного движения и предложили новый алгоритм, который дает новые идеи и методы решения проблемы динамического распределения дорожного движения.

По мере развития науки все больше исследований посвящается решению проблемы равновесного распределения транспортных сетей. Nguyen и Pallottino [8] предложили формулу равновесного распределения дорожного движения, основанную на вариационных неравенствах, и решили ее с помощью метода последовательного усреднения (MSA). Ду Сюэдун и Си Бинфенг [9] предложили двухуровневую модель планирования и алгоритм оценки спроса на трафик на основе стохастического равновесного распределения потоков, который

расширяет метод равновесного распределения потоков. Чжоу и другие [10] и Хуан Жиюань и другие [11] предложили метод динамического распределения для мультимодальных транспортных сетей, особенно в контексте городского железнодорожного транзита и многопутевой доступности, с учетом фактора балансировки нагрузки. Younes и Hamdouch [12] и Verbas и другие [13] предложили проблему распределения для автобусных сетей, смоделировали и разработали алгоритмы на основе расписаний и зазоров соответственно, что позволило еще больше обогатить методы распределения дорожного движения.

Однако, несмотря на то, что вышеперечисленные методы хорошо работают в случае небольших дорожных сетей, при распределении дорожного движения в крупных сетях объем вычислений растет экспоненциально, и вычислительная эффективность и практическая применимость существующих методов сталкиваются с большими проблемами. Поэтому оптимизация традиционных методов распределения трафика становится насущной необходимостью для исследований.

### **Материал и методы**

В современных транспортных системах распределение дорожных движений в дорожных сетях является ключевым звеном в планировании движения и важным шагом для обеспечения приближения модели движения к реальной ситуации. Для исследования взята реальная дорожная сеть в одном из районов Шэньчжэня, которая содержит 9 узлов и 12 участков дорог. Технология больших данных была использована для получения структуры дорожной сети (рис. 1), а также количества дорожных движений и матрицы корреспонденций. Эти данные представляют собой реальную сложную дорожную сеть для проверки эффективности улучшенного метода распределения трафика, предложенного в данной работе. Алгоритм распределения дорожного движения реализован путем написания программы на языке Python.

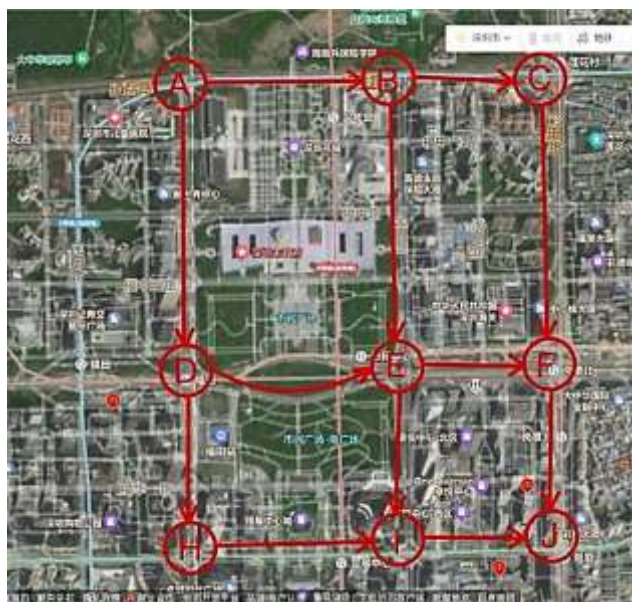


Рисунок 1 - Дорожная сеть в центре г. Шэньчжэнь

### Методика распределения транспортных потоков с учетом ограничения пропускной способности в многопутевых дорожных сетях

В настоящей публикации мы предлагаем подход к распределению транспортных потоков, который интегрирует классический метод с учетом ограничений пропускной способности и метод мультипатходного распределения. Этот метод позволяет объединить требования к трафику с одинаковыми конечными точками и радикально снизить сложность распре-

деления. Кроме того, для дальнейшей оптимизации работы модели в данной работе улучшена стратегия коррекции дорожного сопротивления и метод расчета порядка распределения транспортных потоков, что делает ее более подходящей для решения задач распределения в крупномасштабных дорожных сетях.

В реальном путешествии путешественники не обращают внимания на начальную точку при выборе пути, а стремятся к минимальным затратам (например, время, расстояние и т. д.) для достижения пункта назначения [14]. Исходя из этой реальности, усовершенствованный метод распределения не распределяет дорожные требования по одному, а распределяет дорожные движения с одинаковыми конечными точками как единое целое. Этот метод значительно снижает вычислительную сложность и время, необходимое для процесса распределения, ускоряет весь процесс распределения и больше подходит для задач распределения дорожного движения на крупномасштабных дорожных сетях.

Кроме того, чтобы приблизить динамическую взаимосвязь между потоком и сопротивлением в реальных дорожных сетях, в данной работе усовершенствован процесс коррекции сопротивления. При распределении матрица корреспонденций делится на несколько подматриц, одна подматрица распределяется за один раз, и сразу после завершения распределения обновляется поток на участке дороги и корректируется дорожное сопротивление. При следующем распределении для расчета используются скорректированные значения импеданса. Такой поэтапный и итерационный процесс распределения может более точно отразить взаимодействие потока и сопротивления в дорожной сети и обеспечить достоверность и точность результатов распределения.

#### Оптимизация порядка распределения транспортных потоков

Определение порядка распределения является ключевым компонентом улучшенного метода распределения транспортных потоков с многопутевым ограничением пропускной способности. Известно, что последующие узлы любого узла обязательно находятся ближе к конечной точке, иначе они не могут составлять действительный путь. Поэтому в процессе распределения необходимо убедиться, что текущий выделенный узел имеет топологический приоритет над последующими узлами. В частности, когда трафик распределяется на узел, все узлы перед этим узлом должны завершить распределение, и эти узлы и текущий узел уже не могут составлять эффективный сегмент дороги.

Основываясь на этом принципе, в данной работе разработан алгоритм топологической сортировки для определения приоритетов всех узлов дорожной сети. Алгоритм гарантирует, что в процессе распределения не произойдет распределение в обратном порядке, что повышает точность распределения и эффективность алгоритма. При наличии нескольких узлов, которые могут быть распределены одновременно в начале, метод данной работы позволяет случайным образом выбрать один из узлов для распределения, и такая гибкость повышает способность алгоритма адаптироваться к сложным дорожным сетям.

#### ***Теория / Расчет***

В процессе распределения интенсивность движения на каждом участке дороги меняется, поэтому необходимо корректировать дорожное сопротивление. В данной работе используется функция Федерального управления автомобильных дорог США (The Bureau of Public Roads function, BPR) [15] для описания дорожного сопротивления, в сочетании с дорожным движением и пропускной способностью для динамической коррекции значения сопротивления по определенной формуле:

$$t(q) = t_0 \left( 1 + \alpha \left( \frac{q}{C} \right)^\beta \right),$$

где  $t(q)$  - время в пути для потока  $q$  на участке, сек;

$t_0$  - время в пути для свободного потока на участке (сек);

$C$  - фактическая пропускная способность участка (pcu/h);

$\alpha = 0.15, \beta = 4$  - параметры модели, при этом.

Эффективный отрезок дороги

Действительный отрезок дороги  $[i, j]$  определяется как отрезок дороги, конечная точка  $j$  которого находится ближе к пункту назначения поездки, чем начальная точка  $i$ , т.е. движение по этому отрезку дороги ближе к конечному пункту  $s$ . Таким образом, действительный отрезок дороги может быть определен по следующему правилу: для отрезка дороги  $[i, j]$  считается, что отрезок дороги  $[i, j]$  является действительным, если  $L_{\min}(j, s) < L_{\min}(i, s)$ , где  $L_{\min}(a, b)$  - кратчайший путь прямо из узла  $a$ . кратчайший путь от узла  $a$  до узла  $b$ .

Эффективные маршруты движения

Эффективный маршрут движения - это маршрут, состоящий из ряда эффективных отрезков дороги, где для каждой пары ОД назначается движение только по соответствующему эффективному отрезку дороги [16]. Определяя  $(i-j)$  как маршрут движения транспорта от узла  $i$  к узлу  $j$ , длина эффективного маршрута  $L(i-j, s)$  определяется как длина полосы отвода  $l(i, j)$  эффективного отрезка дороги  $[i, j]$  плюс кратчайшая полоса отвода  $L_{\min}(j, s)$  от конца эффективного отрезка дороги  $j$  до конца поездки  $s$ , т. е:  $L_{\min}(i-j, s) = l(i, j) + L_{\min}(j, s)$ .

Модели и методы распределения дорожного движения

Распределение дорожных движений является важным этапом четырехфазного метода планирования движения, и его основная задача заключается в распределении матрицы корреспонденций по каждой дороге в соответствии с существующей или планируемой дорожной сетью, чтобы спроектировать поток на каждой дороге. В настоящее время модели распределения дорожных движений в основном делятся на две категории: модели сбалансированного распределения и модели несбалансированного распределения, где модели сбалансированного распределения обычно используют первый и второй принципы Уордроба.

Первый принцип Уордроба, также известный как Оптимизированное равновесие пользователя (User Optimized Equilibrium, UE) [17], гласит, что в транспортной сети, когда сеть находится в равновесии, время в пути всех используемых путей одинаково и минимально, а время в пути неиспользуемых путей больше или равно кратчайшему времени в пути. Второй принцип Уордроба, также известный как оптимизированное равновесие системы (System Optimized Equilibrium, SO) [17], гласит, что трафик должен быть распределен в сети таким образом, чтобы общее время в пути всех транспортных средств было минимальным, таким образом достигается оптимальность системы.

На практике методы распределения дорожных движений в основном опираются на модели равновесного распределения. К распространенным методам распределения относятся метод распределения по кратчайшему пути, метод распределения по ограничению пропускной способности и вероятностный метод распределения по нескольким путям.

Метод распределения кратчайших путей направляет все дорожные движения из каждой матрицы корреспонденций на кратчайший путь и не распределяет потоки по остальным путям, поэтому метод не учитывает пропускную способность отрезка дороги и влияние интенсивности движения на сопротивление дороги, и является методом распределения без ограничения пропускной способности.

Метод распределения потоков с ограничением пропускной способности учитывает ограничения пропускной способности пути, т. е. при распределении потоков скорость и время в пути корректируются в зависимости от интенсивности движения на дороге. На практике данный метод реализует распределение транспортных потоков через разделение матрицы корреспонденций на несколько подматриц с последующим обновлением сопротивления движению в зависимости от интенсивности потока на участке дороги после каждого этапа распределения, до полного завершения процесса.

Метод распределения трафика по нескольким путям распределяет дорожное движение по нескольким возможным путям и не ограничивается кратчайшим путем. Метод определяет вероятность выбора каждого пути на основе полезности пути (обычно это обратная величина



времени или расстояния в пути). По сравнению с методом распределения по одному пути, метод распределения по нескольким путям является более реалистичным, поскольку пассажиры обычно корректируют свои маршруты в зависимости от дорожных условий в реальном времени.

Модель Dial была предложена в качестве предварительной вероятностной модели распределения в 1971 году и модифицирована в 1976 году Флорианом и Фоксом [19] для рассмотрения вероятности того, что путешественник выберет маршрут  $k$  между определенными матрицами корреспонденций:

$$P(k) = \frac{\exp[-\theta * t(k)]}{\sum_{i=1} \exp[-\theta * t(i)]},$$

где  $P(k)$  - вероятность выбора маршрута;

$t(k)$  - сопротивление пути, обычно измеряется как среднее время в пути;

$t(i)$  - среднее сопротивление всех путей;

$\theta$  - экспериментальный параметр.

В сложной дорожной сети путешественники выбирают подходящий путь для продолжения движения на каждом перекрестке, и количество выбранных путей зависит от эффективных отрезков дороги на перекрестке [20]. Поскольку сопротивление отрезка дороги изменяется в зависимости от интенсивности движения, при распределении дорожного движения необходимо учитывать зависимость между сопротивлением дороги и нагрузкой на нее.

В данном исследовании используется метод распределения потоков по нескольким путям и ограничения пропускной способности, который объединяет полезность различных путей и ограничения пропускной способности дорог, более реалистично отражает изменения дорожного потока и позволяет избежать явления необоснованной концентрации потока, которое может возникнуть при традиционном методе распределения по одному пути, когда речь идет о крупномасштабных дорожных сетях. Конкретные примеры расчетов приведены ниже.

Пример дорожной сети показан на рисунке 2, узлы представляют собой перекрестки, время в пути на отрезках дороги обозначено на рисунке, а в Таблица 1 приведена матрица корреспонденций от каждого узла дорожного движения до конечной точки узла дорожного движения F, который теперь назначается с помощью вышеупомянутой стратегии распределения транспортных потоков на основе многопутевых ограничений пропускной способности.

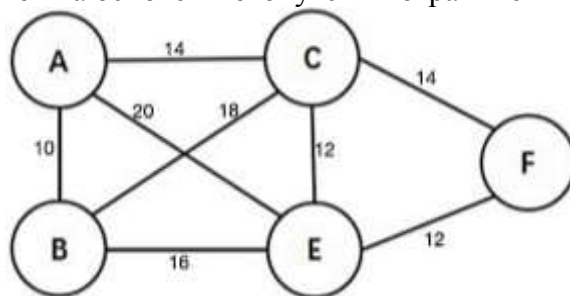


Рисунок 2 - Примеры дорожных сетей

Таблица 1 - Потребность в дорожном движении от каждого узла к узлу 5

Начальная и конечная точки	Транспортный поток
A - F	900
B - F	600
C - F	450
E - F	600

Матрица корреспонденций делится на три подматрицы, которые распределяются по очереди. После завершения распределения трафика значения импеданса каждого отрезка дороги динамически корректируются на основе текущих результатов распределения. Скорректированные значения импеданса используются для следующего раунда распределения тра-



фика до тех пор, пока все матрицы корреспонденций не будут полностью распределены. В процессе трех распределений импеданс дорог пересчитывается после каждого распределения на основе текущего распределенного трафика и корректируется дорожное сопротивление каждого отрезка дороги. Окончательные объемы трафика, полученные в результате трех распределений, показаны в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты после трех распределений дорожного движения

Порядок	Узловая	Отрезок дороги	Первый	Второй	Третий
1	A	A - B	285	88	59
		A - C	154	40	27
		A - E	161	51	34
2	B	B - C	367	101	67
		B - E	319	108	72
3	C	C - E	591	178	119
		C - F	230	53	35
4	E	E - F	1270	397	265

Усовершенствованная стратегия распределения транспортных потоков с многопутевыми ограничениями пропускной способности значительно оптимизирует процесс распределения трафика, анализируя приведенные выше табличные результаты распределения. Метод объединяет запросы трафика с одинаковыми конечными точками и пакетно распределяет их, что требует всего трех итераций для завершения распределения и значительно сокращает количество вычислений. После динамической коррекции дорожного сопротивления распределение трафика на каждой дороге становится более обоснованным.

### Результаты и обсуждение

Чтобы проверить эффективность улучшенной стратегии распределения транспортных потоков с многонаправленными ограничениями пропускной способности, мы выбрали реальные данные дорожной сети одного из районов Шэньчжэня. Дорожная сеть состоит из 9 узлов и 12 отрезков дорог, охватывающих основные транспортные артерии, а также ключевые узлы в регионе. Дорожная сеть среднего размера, но ее распределение трафика является сложным, что позволяет лучше смоделировать реальные условия движения для проверки улучшенного метода. Транспортный поток на каждом отрезке дороги после распределения показан в Таблица 3.

Таблица 3 - Результаты распределения потока на отрезок дороги в Шэньчжэне

Порядок	Узловая	Отрезок дороги	Первый	Второй	Третий
1	A	A - B	272	110	74
		A - D	268	106	70
2	B	B - C	323	136	91
		B - E	340	130	87
3	C	C - F	563	232	155
4	D	D - E	287	126	84
		D - H	311	111	74
5	E	E - F	400	187	125
		E - I	407	142	94
6	F	F - J	1083	467	312
7	H	H - I	491	183	122
8	I	I - J	987	361	240

Чтобы всесторонне проверить точность расчетов и практический эффект улучшенной модели, в данной работе в качестве эталона взята традиционная многопутевая модель распределения, проведен расчет распределения на целевой дорожной сети и получены значения импеданса и данные о дорожном движении на каждом отрезке дороги после распределения.

Сравнивая и анализируя результаты распределения в различных моделях, оценивается эффективность улучшенной модели с точки зрения обоснованности распределения трафика, точности распределения и эффективности расчета распределения, а конкретные результаты представлены в Таблица 4.

Таблица 4 - Результаты традиционного моделирования распределения потока и импеданса

Отрезок дороги	Транспортный поток	импеданса
A - B	444	12.05
A - D	456	8.38
B - C	403	12.00
B - E	691	14.07
C - F	803	9.31
D - E	695	8.86
D - H	311	7.62
E - F	881	14.89
E - I	805	14.54
F - J	1884	41.31
H - I	611	11.79
I - J	1566	15.98

Экспериментальные результаты на реальной дорожной сети в одном из районов Шэньчжэня показывают, что улучшенная модель значительно повышает эффективность распределения, обеспечивая при этом точность распределения. После распределения с использованием улучшенной модели общее сопротивление дорожной сети снижается с 170,8 в традиционном методе до 167,93, что указывает на то, что улучшенная модель может более эффективно сократить время в пути всей сети и повысить эффективность движения по другим показателям сопротивления дороги. Между тем, отношение среднего потока на отрезок дороги к пропускной способности ( $Q/C$ ) в дорожной сети уменьшается с 0,88 до 0,87, что также указывает на то, что улучшенная модель оптимизирует распределение потока и делает работу дорожной сети более сбалансированной. Сравнение результатов представлено на рисунке 3.

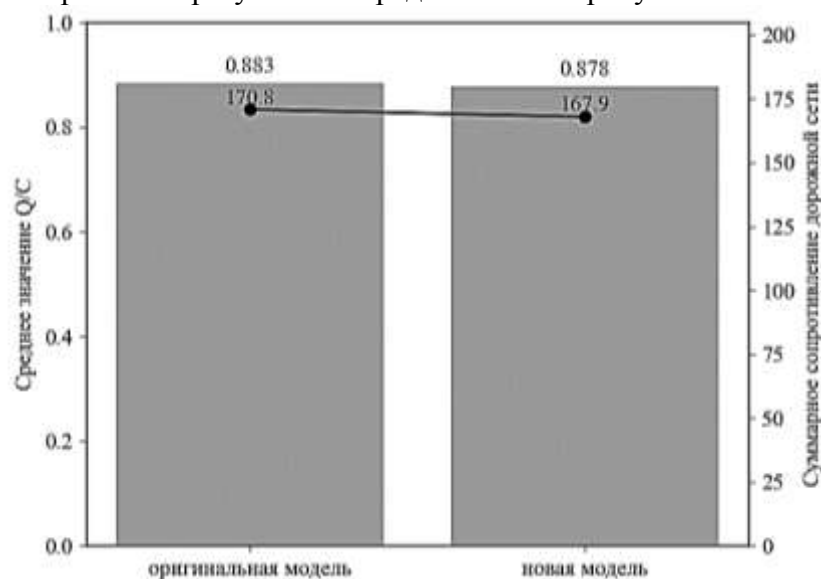


Рисунок 3 - Модельное сравнение: точность оригинальной и улучшенной моделей

Что касается эффективности распределения, то традиционный метод многопутевого распределения требует 18 распределений для завершения распределения всех матриц корреспонденций, в то время как улучшенный метод достигает того же эффекта всего за 3 распределения. Это говорит о том, что усовершенствованная модель значительно сокращает коли-

чество распределений при условии обеспечения точности распределения, что значительно повышает эффективность вычислений и эффективность использования времени.

### **Выводы**

В данной статье предлагается более эффективный и точный метод распределения дорожного движения, усовершенствованный с помощью традиционного метода распределения с ограничением пропускной способности по нескольким путям. По сравнению с традиционным методом, улучшенный метод значительно снижает вычислительную сложность при сохранении точности результатов распределения, что особенно подходит для решения задачи распределения в крупномасштабных дорожных сетях. Кроме того, стратегия распределения транспортных потоков и метод поэтапной коррекции импеданса, предложенные в данной работе, не только дают новые идеи для распределения реального дорожного движения, но и обеспечивают теоретическую основу и техническую поддержку для дальнейшей оптимизации модели дорожного движения. Результаты этого исследования могут послужить важным ориентиром для планирования городского движения и оптимизации дорожной сети, а также помогут повысить эффективность и надежность работы городских транспортных систем.

### **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.
2. Topilin M. Volodina The traffic simulation of regulated road network using navigation systems // *Trans Tech Publications*. 2018. Vol. 931. P. 661-666.
3. Zyryanov I. Topilin M. Volodina Special aspects of the use of «floating» cars information to estimate the quality of road traffic in real time // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 698. 2019.
4. Ukkusuri S.V., Waller S.T. Linear programming models for the user and system optimal dynamic network design problem: formulations, comparisons and extensions // *Networks and Spatial Economics*. 2008. №8. P. 383-406.
5. Friesz T.L., Luque J. Dynamic network traffic assignment considered as a continuous time optimal control problem // *Operations Research*. 1989. №37(6). P. 893-901.
6. Daskin M.S. Urban transportation networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods. 1985.
7. Жэнь Хуалин, Г.А.О. Цзыюй. Алгоритмическое исследование дискретной VI модели для динамического Распределения трафика // *Журнал гражданского строительства*. 2004. №37(3). С. 105-108.
8. Nguyen S., Pallottino S. Equilibrium traffic assignment for large scale transit networks // *European journal of operational research*. 1988. №37(2). С. 176-186.
9. Ду Сюэдун Сибинфэн. Двухслойная модель планирования и алгоритм оценки ОД на основе стохастического равновесного распределения потоков // *Журнал Шаньдунского университета науки и технологии: естественнонаучное издание*. 2005. №24(3). С. 86-89.
10. Zhou X., Mahmassani H.S. Dynamic micro-assignment modeling approach for integrated multimodal urban corridor management // *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*. 2008. №16(2). P. 167-186.
11. Хуан Чжиюань, Чжоу Фэн, Сюй Руйхуа и др. Метод балансировки нагрузки пассажиропотока для городской железнодорожной транзитной сети на основе многопутевой достижимости // *Journal of Wuhan University of Technology: transport science and engineering edition*. 2018. №42(3). С. 5. DOI:CNKI:SUN:JTKJ.0.2018-03-016.
12. Hamdouch Y. Schedule-based transit assignment model with vehicle capacity and seat availability // *Transportation Research. Part B: Methodological*. 2011. №45(10). С. 1805-1830.
13. Verbas O, Mahmassani H.S. Gap-based transit assignment algorithm with vehicle capacity constraints: Simulation-based implementation and large-scale application // *Transportation Research. Part B: Methodological*. 2016. №93. P. 1-16.
14. Гао Цзыюу, Рен Хуалин. Модель и алгоритм динамического распределения транспортных потоков в городах // *Народное транспортное издательство*. 2005.
15. Ван В. Улучшение модели многопутевого распределения трафика и алгоритма распределения узлов // *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*. 1994. №24(6). С. 6. DOI:CNKI:SUN:DNDX.0.1994-06-003.
16. Вул Лицзюань. Исследование согласования путей следования пассажиров и влияния чрезвычайных ситуаций в городской транзитной железнодорожной сети на основе данных AFC // *Beijing Jiaotong University*. 2016. DOI:10.7666/d.Y3125907.
17. Вэй Цзэнсинь, Ши Тин, ГАО Сулуань. Стохастическая модель пользовательского равновесия и алгоритм для дорожных сетей с эластичным спросом и понижающимся уровнем // *Statistics and Decision Making*.

2012. №7. С. 3. DOI:CNKI:SUN:TJJC.0.2012-07-023.

18. Farahani R., Miandoabchi E. et al. A review of urban transportation network design problems // European Journal of Operational Research. 2013. №229(2). С. 281-302. DOI:10.1016/j.ejor.2013.01.001.

19. Florian M., Fox B. On the probabilistic origin of dial's multipath traffic assignment model // Transportation Research. 1976. 10(5):339-341. DOI:10.1016/0041-1647(76)90113-1.

20. Ву Чжэньян. Исследование теории и технологии управления распределением пассажиропотока в городской железнодорожной транзитной сети. Юго-западный университет Цзяотун, 2018. DOI:CNKI:CDMD:2.1018.709514.

21. Лонг Цзяньчэн, Гуо Цзяци. Обзор и перспективы исследований проблем динамического распределения дорожного движения // Transportation Systems Engineering and Information. 2021. DOI:10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.05.012.

**Хань Мэнъи**

Донской государственный технический университет

Адрес: 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Аспирант

E-mail: hanmengyi@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: opdrsgu@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 «Автотранспортные, строительные и дорожные средства»

E-mail: ivan\_top@mail.ru

---

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

**RESEARCH ON THE ALGORITHM OF TRAFFIC DISTRIBUTION IN  
LARGE-SCALE ROAD NETWORK BASED ON OPTIMIZATION OF  
TRAFFIC FLOW DISTRIBUTION**

**Abstract.** *The paper proposes a traffic flow allocation algorithm to solve the problem of low speed and efficiency of traditional traffic allocation algorithms under multi-path capacity constraints of large-scale road networks. The algorithm speeds up the allocation process by merging traffic requests from the same endpoints and allocating the merged traffic requests. Meanwhile, the algorithm updates the flow resistance by partitioning the correspondence matrix into k sub-matrices and performing k allocation iterations, which dynamically corrects the effect of flow changes on the flow resistance and ensures accurate results. Example analysis shows that the improved method is effective in complex road networks.*

**Keywords:** *traffic allocation, multi-path capacity constraint method, traffic flow allocation algorithm, large-scale road network, road resistance*

**BIBLIOGRAPHY**

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.
2. Topilin M. Volodina The traffic simulation of regulated road network using navigation systems // Trans Tech Publications. 2018. Vol. 931. R. 661-666.
3. Zyryanov I. Topilin M. Volodina Special aspects of the use of "floating" cars information to estimate the quality of road traffic in real time // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 698. 2019.
4. Ukusuri S.V., Waller S.T. Linear programming models for the user and system optimal dynamic network design problem: formulations, comparisons and extensions // Networks and Spatial Economics. 2008. №8. R. 383-406.
5. Friesz T.L., Luque J. Dynamic network traffic assignment considered as a continuous time optimal control problem // Operations Research. 1989. №37(6). R. 893-901.

6. Daskin M.S. Urban transportation networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods. 1985.
7. Zhen` Hualin, G.A.O. TSzyuy. Algoritmicheskoe issledovanie diskretnoy VI modeli dlya dinamicheskogo Raspredeleniya trafika // ZHurnal grazhdanskogo stroitel'stva. 2004. №37(3). S. 105-108.
8. Nguyen S., Pallottino S. Equilibrium traffic assignment for large scale transit networks // European journal of operational research. 1988. №37(2). S. 176-186.
9. Du Syuedun Sibinfen. Dvukhsloynaya model' planirovaniya i algoritm otsenki OD na osnove stokhasticheskogo ravnovesnogo raspredeleniya potokov // ZHurnal Shan'dun'skogo universiteta nauki i tekhnologii: estestvennonauchnoe izdanie. 2005. №24(3). S. 86-89.
10. Zhou X., Mahmassani H.S. Dynamic micro-assignment modeling approach for integrated multimodal urban corridor management // Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. 2008. №16(2). R. 167-186.
11. Huan CHzhiyuan`, CHzhou Fen, Syuy Ruykhua i dr. Metod balansirovki nagruzki passazhiropotoka dlya gorodskoy zheleznodorozhnoy tranzitnoy seti na osnove mnogoputevoy dostizhimosti // Journal of Wuhan University of Technology: transport science and engineering edition. 2018. №42(3). S. 5. DOI:CNKI:SUN:JTKJ.0.2018-03-016.
12. Hamdouch Y. Schedule-based transit assignment model with vehicle capacity and seat availability // Transportation Research. Part B: Methodological. 2011. №45(10). S. 1805-1830.
13. Verbas O, Mahmassani H.S. Gap-based transit assignment algorithm with vehicle capacity constraints: Simulation-based implementation and large-scale application // Transportation Research. Part B: Methodological. 2016. №93. R. 1-16.
14. Gao TSzyou, Ren Hualin. Model' i algoritm dinamicheskogo raspredeleniya transportnykh potokov v gorodakh // Narodnoe transportnoe izdatel'stvo. 2005.
15. Van V. Uluchshenie modeli mnogoputevogo raspredeleniya trafika i algoritma raspredeleniya uz-lov // Journal of Southeast University: Natural Science Edition. 1994. №24(6). S. 6. DOI:CNKI:SUN:DNDX.0.1994-06-003.
16. Vul Litszyuan`. Issledovanie soglasovaniya putey sledovaniya passazhirov i vliyaniya chrezvychaynykh situatsiy v gorodskoy tranzitnoy zheleznodorozhnoy seti na osnove dannykh AFC // Beijing Jiaotong University. 2016. DOI:10.7666/d.Y3125907.
17. Vey TSzensin`, Shi Tin, GAO Suluan`. Stokhasticheskaya model' pol'zovatel'skogo ravnovesiya i algoritm dlya dorozhnykh setey s elastichnym sprosom i ponizhayushchimsya urovnem // Statistics and Decision Making. 2012. №7. S. 3. DOI:CNKI:SUN:TJJ.0.2012-07-023.
18. Farahani R., Miandoabchi E. et al. A review of urban transportation network design problems // European Journal of Operational Research. 2013. №229(2). S. 281-302. DOI:10.1016/j.ejor.2013.01.001.
19. Florian M., Fox B. On the probabilistic origin of dial's multipath traffic assignment model // Transportation Research. 1976. 10(5):339-341. DOI:10.1016/0041-1647(76)90113-1.
20. Vu CHzhen"yan. Issledovanie teorii i tekhnologii upravleniya raspredeleniem passazhiropotoka v gorodskoy zheleznodorozhnoy tranzitnoy seti. YUgo-Zapadnyy universitet TSzyaotun, 2018. DOI:CNKI:CDMD:2.1018.709514.
21. Long TSzyan`chen, Guo TSzyatsi. Obzor i perspektivy issledovaniy problem dinamicheskogo raspredeleniya dorozhnogo dvizheniya // Transportation Systems Engineering and Information. 2021. DOI:10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.05.012.

**Han Mengyi**

Don State Technical University  
Address: 344000, Russia, Rostov-on-Don  
Postgraduate student  
E-mail: hanmengyi@mail.ru

**Zyryanov Vladimir Vasilevich**

Don State Technical University  
Address: 344000, Russia, Rostov-on-Don  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: opdragsu@mail.ru

**Topilin Ivan Vladimirovich**

Don State Technical University  
Address: 344000, Russia, Rostov-on-Don  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: ivan\_top@mail.ru

Научная статья

УДК 004.8:004.6

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-13-20

И.Н. ПУГАЧЕВ, В.С. ТОРМОЗОВ

## МНОВИДОВАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СВЕРТКА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ: ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ТОЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Аннотация.** Быстрое развитие информационных технологий сделало прогнозирование множественных временных рядов, особенно в области анализа транспортных потоков, все более важным для оценки больших данных. Прогнозирование транспортных потоков, выступая в качестве основы для интеллектуальных транспортных систем (ИТС), имеет значительную научную и практическую ценность для планирования городского движения, повышая качество и эффективность как логистического транспорта, так и стратегий общественного транспорта. В интеллектуальной транспортной системе прогнозирование транспортных потоков остается важнейшей задачей. Однако из-за сложных временных и пространственных зависимостей, присущих последовательностям транспортных потоков, создание точной модели прогнозирования с использованием кольцевых нейронных сетей, графовых сетей и моделей трансформера представляет значительные проблемы. Чтобы использовать преимущества сверточных сетей, известных своей высокой вычислительной эффективностью и надежными возможностями извлечения признаков, предлагается новая модель прогнозирования транспортных потоков, которая использует мновидовую пространственно-временную свертку.

**Ключевые слова:** прогнозирование транспортного потока, глубокое обучение, машинное обучение, графовые нейронные сети

### Введение

С ускорением развития информационных технологий, прогнозирование транспортных потоков стало критически важным для анализа больших данных. Как фундамент интеллектуальной транспортной системы, это прогнозирование имеет значительное научное и практическое значение для планирования городского движения, улучшения качества и эффективности логистики и общественного транспорта. Однако, извлечение пространственно-временных признаков из сложных многомерных данных о транспортных потоках и реализация комплексного прогнозирования от начала до конца остается исследовательской задачей. Основная проблема прогнозирования транспортных потоков заключается в сложной связи между многомерными данными и извлечении постоянно меняющихся пространственно-временных признаков.

### Материал и методы

Традиционные статистические методы и классические методы машинного обучения, такие как локальная регрессия и фильтр Калмана, подходят для прогнозирования одиночных последовательностей, но не могут эффективно обрабатывать сложные многомерные данные. Новые методы, такие как сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN) и автоматические кодировщики, достигли более точного извлечения признаков временных рядов. Графовая сверточная сеть (GCN) извлекает уникальные пространственные признаки данных о транспортных потоках, используя сверточную операцию над графами. Много-слойные модели, которые извлекают пространственные и временные признаки одновременно, постоянно обновляют лучшие результаты прогнозирования транспортных потоков.

В последнее время методы, основанные на представлении графов и свертке графов, достигли заметного прогресса в прогнозировании многомерных временных рядов. Глубокие модели обучения, такие как CNN и RNN, эффективно захватывают признаки на евклидовых данных, но требуют адаптации для применения к графовым данным, что привело к развитию

CCN. Операции свертки графов включают пространственную свертку графов и свертку графов в спектральной области.

Кроме того, прогнозирование транспортных потоков имеет важное значение для планирования городской инфраструктуры, таких как строительство дорог, мостов и транспортных узлов. Точное прогнозирование транспортных потоков может помочь городским планировщикам принимать обоснованные решения о развитии инфраструктуры, что может привести к уменьшению пробок, улучшению безопасности дорожного движения и снижению уровня загрязнения воздуха.

Более того, прогнозирование транспортных потоков может быть использовано для оптимизации маршрутов общественного транспорта, что может привести к уменьшению времени в пути и улучшению качества обслуживания пассажиров. Кроме того, прогнозирование транспортных потоков может быть использовано для мониторинга и управления транспортными потоками в реальном времени, что может помочь в предотвращении пробок и улучшении безопасности дорожного движения.

В целом, прогнозирование транспортных потоков является важной задачей, которая требует разработки новых методов и алгоритмов для эффективного извлечения пространственно-временных признаков из сложных многомерных данных. Развитие методов, основанных на представлении графов и свертке графов, может помочь в решении этой задачи и привести к улучшению качества и эффективности транспортных систем.

### *Теория*

#### Подготовка и установка зависимостей

На основе проанализированных источников можно сделать вывод, что многовидовая пространственно-временная свертка широко используется в прогнозировании транспортных потоков. Исследования, рассмотренные в обзоре, демонстрируют эффективность этого подхода в захвате сложных пространственных и временных зависимостей в транспортных данных.

Использование многовидовой пространственно-временной свертки для прогнозирования транспортных потоков было впервые предложено в [1], где авторы предложили новую модель, которая объединяет сверточные нейронные сети (CNN) и графовые сверточные сети (GCN) для захвата как пространственных, так и временных зависимостей в транспортных данных. Этот подход был показан более точным и эффективным по сравнению с традиционными методами.

Последующие исследования развили это направление, исследуя использование многовидовой пространственно-временной свертки в различных приложениях прогнозирования транспортных потоков. Например, [2] использовали многовидовую пространственно-временную сверточную сеть для прогнозирования транспортных потоков на автомагистралях, достигнув высокой точности и устойчивости. Аналогично, [3] применили этот подход к прогнозированию транспортных потоков в городских условиях, демонстрируя его эффективность в захвате сложных пространственных и временных паттернов.

Другие исследования были сосредоточены на улучшении производительности многовидовых пространственно-временных сверточных сетей для прогнозирования транспортных потоков. Например, [4] предложили новый механизм внимания для селективного фокусирования на соответствующих пространственных и временных признаках, что привело к улучшению точности прогнозирования. Между тем, [5] разработали подход к трансферному обучению для адаптации многовидовых пространственно-временных сверточных сетей к новым транспортным сценариям, уменьшив потребность в обширном повторном обучении.

Использование многовидовой пространственно-временной свертки также было исследовано в других связанных областях, таких как прогнозирование транспортного спроса [6] и обнаружение транспортных инцидентов [7]. Эти исследования демонстрируют универсальность и эффективность этого подхода в захвате сложных пространственных и временных зависимостей в транспортных данных.



Кроме того, [8] предоставили всесторонний обзор методов глубокого обучения для прогнозирования транспортных потоков, включая многовидовую пространственно-временную свертку. Этот обзор подчеркнул сильные и слабые стороны этих подходов и предоставил руководство для будущих исследований.

Наконец, [9] предложили новый фреймворк для интеграции многовидовой пространственно-временной свертки с другими машинными алгоритмами, такими как графовые нейронные сети и обучение с подкреплением, для создания более полной системы прогнозирования транспортных потоков.

В целом, обзорные исследования демонстрируют эффективность многовидовой пространственно-временной свертки в прогнозировании транспортных потоков и подчеркивают ее потенциал для дальнейшего развития и применения в этой области [10].

#### Разработка программы

Дорожная сеть города лучше представима в виде графа, а не простой двумерной сетки, что указывает на то, что модель CNN не способна эффективно представлять сложную топологию этой сети и, как следствие, не может точно отражать пространственные зависимости [11]. Используя матрицу смежности  $A$  вместе с собственной матрицей  $X$ , модель GCN формулирует фильтр в области Фурье. Этот фильтр работает с узлами графа, фиксируя пространственные характеристики узлов через их непосредственное соседство, а затем создает модель GCN посредством наложения нескольких сверточных слоев, которую можно сформулировать как:

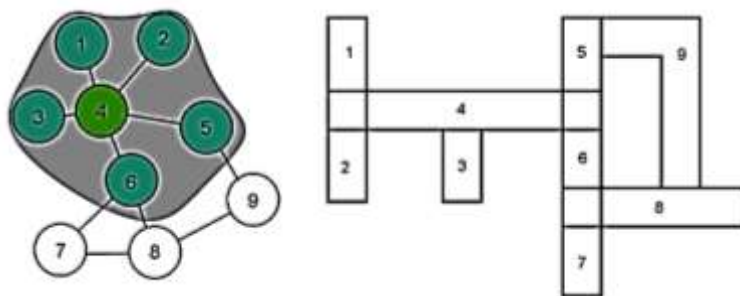
$$P^{(k+1)} = \gamma \tilde{H} \hat{D} P^{(k)} \theta^{(k)}.$$

В этой статье используется сверточная сеть, состоящая из двух слоев, модель GCN которой предназначена для фиксации пространственных зависимостей и представлена следующим образом:

$$f(X, A) = \gamma \hat{D} W_1 f_{ReLU}(\hat{D} X W_0).$$

Функциональная формула, изложенная выше, иллюстрирует, как модель GCN используется для извлечения пространственных характеристик из данных о трафике.

Как показано на рисунке 1, предполагая, что узел 4 является центральной дорогой, модель GCN может получить топологическую связь между центральной дорогой и окружающими дорогами, закодировать структуру топологии сети и атрибуты дорог, и получить пространственную зависимость.



**Рисунок 1 – Предположение, что узел 4 является центральной дорогой: выделенные узлы показывают, что эти перегоны соединены с центральной дорогой, путем получения топологической связи между центральной дорогой и соединенными перегонами может быть получен пространственный признак**

Была выбрана модель GRU для получения временной зависимости из данных трафика [12]. GRU использует скрытое состояние в  $(k-1)$  момент времени и текущую информацию о трафике в качестве входных данных для получения состояния трафика в  $k$ -ый момент времени. Как показано на рисунке 2, GRU использует сброс ворот ( $a_k$ ) для управления степенью игнорирования информации о состоянии в предыдущий момент, обновление ворот ( $b_k$ ) для управления степенью, в которой информация о состоянии в предыдущий момент времени переносится в текущее состояние, и содержимое памяти ( $c_k$ ) для хранения информации о трафике в  $k$ -ый момент времени.

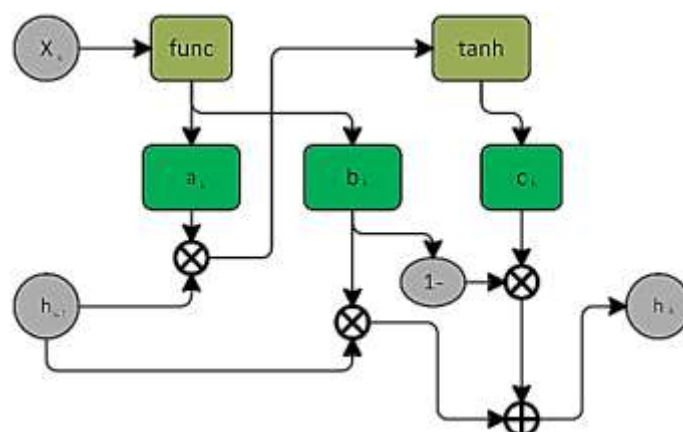


Рисунок 2 – Архитектура модели GRU (Gated Recurrent Unit)

### Результаты и обсуждение

Благодаря применению GRU модель может захватывать тенденцию изменения исторической информации о трафике и имеет способность захватывать временную зависимость. Это позволяет моделировать и предсказывать будущие значения трафика с высокой точностью [13]. Кроме того, GRU может быть использована для анализа и прогнозирования других типов временных рядов, таких как данные о погоде, финансовые данные и т.д.

**Сбор данных:** Для проведения исследования будет организован систематический сбор данных с детекторов транспорта, расположенных на основных транспортных артериях города Хабаровска. Эти детекторы будут предоставлять непрерывные данные о скорости движения транспортных средств, которые являются критически важными для анализа [14] и прогнозирования транспортных потоков. Сбор данных будет осуществляться в течение месяца, с 1 по 31 октября 2023 года, с интервалом измерений каждые 15 минут. Такой подход обеспечит достаточное количество данных для обучения и тестирования модели, а также позволит учесть изменчивость транспортных потоков в течение суток и дней недели.

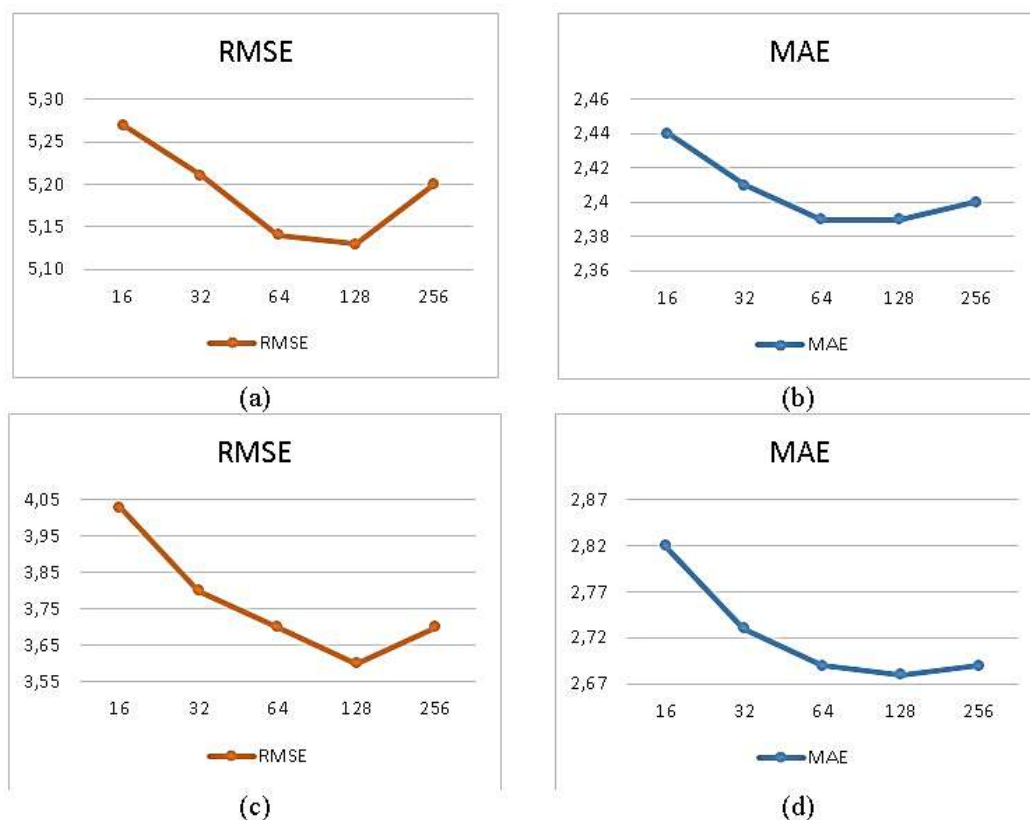
**Обработка данных:** После сбора данные будут подвергнуты тщательной предварительной обработке. Этот этап включает в себя несколько ключевых шагов: очистку данных от выбросов и пропусков, которые могут исказить результаты анализа [15]. Для этого будут применены статистические методы и алгоритмы машинного обучения, способные автоматически идентифицировать и корректировать такие аномалии. Далее, будет создана матрица смежности, которая будет описывать пространственные связи между различными участками дорог, что важно для моделирования транспортных сетей [16]. Кроме того, будет создана временная матрица, отражающая изменения скорости движения во времени, что позволит модели учитывать временные паттерны в движении. Данные будут нормированы на интервал  $[0,1]$  для улучшения сходимости модели во время обучения, что является стандартной практикой в машинном обучении для ускорения и стабилизации процесса обучения [17].

**Разделение данных:** Нормированные данные будут разделены на обучающий и тестовый наборы в соотношении 80 % к 20 %. Это стандартное разделение позволит обучить модель на большей части данных, обеспечивая ей достаточное количество информации для изучения закономерностей, и затем проверить её эффективность на независимом наборе данных, чтобы оценить, насколько хорошо модель обобщает новые, невидимые ранее данные [18].

**Обучение модели:** Модель T-GCN будет обучаться на обучающем наборе данных с использованием выбранных гиперпараметров [19]. Процесс обучения будет включать в себя несколько эпох, в течение которых модель будет адаптировать свои параметры для минимизации ошибки прогнозирования. Во время обучения будет осуществляться мониторинг метрик, чтобы контролировать процесс обучения и своевременно корректировать параметры, если это необходимо [20-21].

### Выводы

Приведенная детальная методология обеспечивает систематический подход к проведению исследования прогнозирования транспортных потоков в городе Хабаровске с использованием модели T-GCN, включая все необходимые этапы от сбора и обработки данных до анализа результатов и документирования исследования.



**Рисунок 3 - Результаты тестирования разработанной модели:** а - зависимость RMSE от количества скрытых элементов на обучающем наборе; б - зависимость MAE от количества скрытых элементов на обучающем наборе; в - зависимость RMSE от количества скрытых элементов на тестовом наборе; г - зависимость MAE от количества скрытых элементов на тестовом наборе

Анализ результатов показал, что модель T-GCN может захватывать пространственные и временные зависимости в данных о транспортных потоках. Использование матрицы смежности и временной матрицы позволило модели учитывать пространственные и временные паттерны в движении. Кроме того, применение GRU позволило модели захватывать тенденцию изменения исторической информации о трафике и иметь способность захватывать временную зависимость.

Результаты тестирования показали, что модель T-GCN может достигать высокой точности прогнозирования транспортных потоков. Зависимость RMSE и MAE от количества скрытых элементов на обучающем и тестовом наборах показала, что модель может эффективно прогнозировать транспортные потоки с высокой точностью.

В данной статье представлена методология прогнозирования транспортных потоков в городе Хабаровске с использованием модели T-GCN. Результаты тестирования показали, что модель T-GCN может эффективно прогнозировать транспортные потоки с высокой точностью. Использование матрицы смежности и временной матрицы позволило модели учитывать пространственные и временные паттерны в движении. Кроме того, применение GRU позволило модели захватывать тенденцию изменения исторической информации о трафике и иметь способность захватывать временную зависимость.

Данная методология может быть использована для прогнозирования транспортных потоков в других городах и регионах. Кроме того, модель T-GCN может быть использована

для анализа и прогнозирования других типов временных рядов, таких как данные о погоде, финансовые данные и т.д.

В целом, данная статья представляет собой важный вклад в область прогнозирования транспортных потоков и может быть использована для улучшения качества и эффективности транспортных систем.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, дополнительное соглашение от 21.04.2020 №075-02-2020-1529/1.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пугачев И.Н. Теоретические принципы и методы повышения эффективности функционирования транспортных систем городов: дис. ... д-а техн. наук. Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения. 2010.
2. Song X., Zhang J., Li Z. Attention-based multi-view spatial-temporal graph convolutional networks for traffic flow forecasting // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. №21(4). P. 931-942.
3. Pugachev I.N. et al. Numerical evaluation of the traffic flow indicators using super-resolution satellite imagery // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). IEEE. 2019. С. 1-4.
4. Пугачев И.Н., Тормозов В.С. Разработка нового метода детектирования и классификации транспорта средств по спутниковым изображениям // Дороги и мосты. 2023. №1(49). С. 199-220.
5. Пугачев И.Н., Тормозов В.С. Разработка метода детектирования объектов транспортных потоков по спутниковым фотоснимкам сверхвысокого разрешения [Электронный ресурс] / Вестник ДВО РАН. 2024. №2. С. 33-41. URL: <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824020033>. EDN: ldnkmo.
6. Synergy of approaches to improving intelligent transport systems of cities in Russia and Belarus / I.N. Pugachev, D.V. Kapsky, D.V. Navoy, G.Ya. Markelov, V.S. Tormozov, V.I. Shcheglov. Khabarovsk: Pacific State University, 2020. 230 p. EDN YDRMXN.
7. Тормозов В.С., Василенко К.А., Золкин А.Л. Настройка и обучение многослойного персептрона для задачи выделения дорожного покрытия на космических снимках города // Программные продукты и системы. 2020. Т. 33. №2. С. 343-348.
8. Tormozov V.S. Method of detection and classification of vehicles on ultra-high-resolution satellite images // Industrial ACS and controllers. 2019. №6. P. 18-24. DOI 10.25791/asu.06.2019.678. EDN WAMRGQ.
9. Chen L., Zhang Y., Li Z. Graph-based deep learning for traffic demand forecasting // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2020. №112. 102744.
10. Chen Ch., Minald A.A., Bogush R.pp., Ma G., Weichen Y., Ablameiko S.V. Vehicle Detection and Classification in Super-Resolution Imagery Using Neural Networks // Journal of Applied Spectroscopy. 2022. Vol. 89. №2. P. 275-282.
11. Xu Z., Yuan J., Yu L., Wang, G., Zhu M. Machine Learning-Based Traffic Flow Prediction and Intelligent Traffic Management // International Journal of Computer Science and Information Technology. 2024. Т. 2. №1. С. 18-27.
12. Tormozov V.S. Improving the performance of the algorithm for detecting and classifying vehicles in satellite images by reducing the search area using geoinformation about roads // Bulletin of the Russian New University. Series: Complex systems: models, analysis and control. 2019. №2. P. 56-63. DOI 10.25586/RNU.V9187.19.02.pp.056. EDN LKERAT.
13. Zhang J., Song X., Li Z. Graph convolutional networks for traffic incident detection. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. №21(5). P. 1231-1242.
14. Wang Y., Zhang J., Li Z. Deep learning for traffic flow forecasting: a review // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. №21(6). P. 1531-1544.
15. Zhang, Y., Chen, L., & Li, Z. A framework for integrating graph convolutional networks with reinforcement learning for traffic flow optimization // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. №21(7). P. 1745-1756.
16. Tormozov V.S. Counting and Recognizing Cars on Satellite Images // Scientific Notes of TSU. 2017. Vol. 8. №3. P. 126-134. EDN ZQNTUB.
17. Zolkin A.L., Tormozov V.S., Gridina D.V. Intelligent software and information system for diagnostics and forecasting the technical condition of traction electric motors // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020. Vol. 22. №4(96). P. 92-97. DOI 10.37313/1990-5378-2020-22-4-92-97. EDN EZSCNM.
18. Пугачев И.Н., Скрипко П.Б., Шешера Н.Г. Программный подход к комплексному сбору и подготовке данных об интенсивности движения транспортных средств, погодных условий и естественной освещенности в часовых интервалах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №10. С. 43-51.
19. Pugachev I., Kulikov Y., Markelov G., Sheshera N. Factor Analysis of Traffic Organization and Safety Sys-

tems // 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities». SPbOTSIC-2016. St. Petersburg. St. Petersburg. 2017. P. 529-535.

20. Бурков С.М., Маркелов Г.Я., Пугачев И.Н. Задачи системного анализа и методология формирования интеллектуальной системы управления транспортным комплексом города // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2013. №4(31). С. 83-90.

21. Bin Pu, Цзянсун Лю, Yan Kang, Цзянго Чен, Филип С.Ю. MVSTT: многовидовая пространственно-временная трансформаторная сеть для прогнозирования транспортных потоков // IEEE Trans Cybern. 2024. №54(3). С. 1582-1595. doi: 10.1109/TCYB.2022.3223918.

**Пугачев Игорь Николаевич**

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

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

Д.т.н., заместитель директора по научной работе ХФИЦ ДВО РАН, профессор каф. Изыскания и проектирования железных и автомобильных дорог

E-mail: ipugachev64@mail.ru

**Тормозов Владимир Сергеевич**

Тихоокеанский государственный университет

Адрес: 680020, Россия, г. Хабаровск, ул Тихоокеанская, 136

К.т.н., доцент высшей школы кибернетики и цифровых технологий

E-mail: 007465@pnu.edu.ru

---

I.N. PUGACHEV, V.S. TORMOZOV

## MULTI-VIEW SPATIAL-TEMPORAL CONVOLUTION FOR TRAFFIC FLOW FORECASTING: AN APPROACH TO IMPROVE ACCURACY AND EFFICIENCY

**Abstract.** *The rapid development of information technology has made multiple time series forecasting, especially in the field of traffic flow analysis, increasingly important for big data evaluation. Traffic flow forecasting, acting as a basis for intelligent transportation systems (ITS), has significant scientific and practical value for urban traffic planning, improving the quality and efficiency of both logistics transport and public transport strategies. In an intelligent transportation system, traffic flow forecasting remains a critical task. However, due to the complex temporal and spatial dependencies inherent in traffic flow sequences, establishing an accurate forecasting model using ring neural networks, graph networks, and transformer models presents significant challenges. To take advantage of convolutional networks, which are known for their high computational efficiency and robust feature extraction capabilities, a novel traffic flow prediction model is proposed that utilizes multi-view spatio-temporal convolution.*

**Keywords:** *traffic flow prediction, deep learning, machine learning, graph neural networks*

## BIBLIOGRAPHY

1. Pugachev I.N. Teoreticheskie printsipy i metody povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya transportnykh sistem gorodov: dis. ... d-a tekhn. nauk. Ekaterinburg: Ural'skiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya. 2010.
2. Song X., Zhang J., Li Z. Attention-based multi-view spatial-temporal graph convolutional networks for traffic flow forecasting // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. №21(4). R. 931-942.
3. Pugachev I.N. et al. Numerical evaluation of the traffic flow indicators using super-resolution satellite imagery // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). IEEE. 2019. S. 1-4.
4. Pugachev I.N., Tormozov V.S. Razrabotka novogo metoda detektirovaniya i klassifikatsii transportakh sredstv po sputnikovym izobrazheniyam // Dorogi i mosty. 2023. №1(49). S. 199-220.
5. Pugachev I.N., Tormozov V.S. Razrabotka metoda detektirovaniya ob"ektov transportnykh potokov po sputnikovym fotosnimkam sverkhvysokogo razresheniya [Elektronnyy resurs] / Vestnik DVO RAN. 2024. №2. S. 33-41. URL: <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824020033>. EDN: ldnkmo.
6. Synergy of approaches to improving intelligent transport systems of cities in Russia and Belarus / I.N. Pugachev, D.V. Kapsky, D.V. Navoy, G.Ya. Markelov, V.S. Tormozov, V.I. Shcheglov. Khabarovsk: Pacific State University, 2020. 230 p. EDN YDRMXN.

7. Tormozov V.S., Vasilenko K.A., Zolkin A.L. Nastroyka i obuchenie mnogosloynogo perseptrona dlya zadachi vydeleniya dorozhnogo pokrytiya na kosmicheskikh snimkakh goroda // Programmnye produkty i sistemy. 2020. T. 33. №2. S. 343-348.
8. Tormozov V.S. Method of detection and classification of vehicles on ultra-high-resolution satellite images // Industrial ACS and controllers. 2019. №6. P. 18-24. DOI 10.25791/asu.06.2019.678. EDN WAMRGQ.
9. Chen L., Zhang Y., Li Z. Graph-based deep learning for traffic demand forecasting // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2020. №112. 102744.
10. Chen Ch., Minald A.A., Bogush R.pp., Ma G., Weichen Y., Ablameiko S.V. Vehicle Detection and Classification in Super-Resolution Imagery Using Neural Networks // Journal of Applied Spectroscopy. 2022. Vol. 89. №2. R. 275-282.
11. Xu Z., Yuan J., Yu L., Wang, G., Zhu M. Machine Learning-Based Traffic Flow Prediction and Intelligent Traffic Management // International Journal of Computer Science and Information Technology. 2024. T. 2. №1. S. 18-27.
12. Tormozov V.S. Improving the performance of the algorithm for detecting and classifying vehicles in satellite images by reducing the search area using geoinformation about roads // Bulletin of the Russian New University. Series: Complex systems: models, analysis and control. 2019. №2. P. 56-63. DOI 10.25586/RNU.V9187.19.02.pp.056. EDN LKERAT.
13. Zhang J., Song X., Li Z. Graph convolutional networks for traffic incident detection. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. №21(5). R. 1231-1242.
14. Wang Y., Zhang J., Li Z. Deep learning for traffic flow forecasting: a review // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. №21(6). R. 1531-1544.
15. Zhang, Y., Chen, L., & Li, Z. A framework for integrating graph convolutional networks with reinforcement learning for traffic flow optimization // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. №21(7). R. 1745-1756.
16. Tormozov V.S. Counting and Recognizing Cars on Satellite Images // Scientific Notes of TSU. 2017. Vol. 8. №3. P. 126-134. EDN ZQNTUB.
17. Zolkin A.L., Tormozov V.S., Gridina D.V. Intelligent software and information system for diagnostics and forecasting the technical condition of traction electric motors // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020. Vol. 22. №4(96). R. 92-97. DOI 10.37313/1990-5378-2020-22-4-92-97. EDN EZSCNM.
18. Pugachev I.N., Skripko P.B., Sheshera N.G. Programmnyy podkhod k kompleksnomu sboru i podgotovki dannykh ob intensivnosti dvizheniya transportnykh sredstv, pogodnykh usloviy i estestvennoy osveshchennosti v chasovykh intervalakh // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2023. Tom 17. №10. S. 43-51.
19. Pugachev I., Kulikov Y., Markelov G., Sheshera N. Factor Analysis of Traffic Organization and Safety Systems // 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities». SPbOTSIC-2016. St. Petersburg. St. Petersburg. 2017. P. 529-535.
20. Burkov S.M., Markelov G.YA., Pugachev I.N. Zadachi sistemnogo analiza i metodologiya formirovaniya intellektual'noy sistemy upravleniya transportnym kompleksom goroda // Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. №4(31). S. 83-90.
21. Bin Pu, TSzyansun Lyu, Yan Kang, TSzyango Chen, Filip S.YU. MVSTT: mnogovidovaya prostranstvenno-vremennaya transformatornaya set' dlya prognozirovaniya transportnykh potokov // IEEE Trans Cybern. 2024. №54(3). S. 1582-1595. doi: 10.1109/TCYB.2022.3223918.

**Pugachev Igor Nikolaevich**

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Adress: 680000, Russia, Khabarovsk, Dzerzhinsky St., 54.

Doctor of Technical Sciences

E-mail: ipugachev64@mail.ru

**Tormozov Vladimir Sergeevich**

Pacific National University

Adress: 680020, Russia, Khabarovsk, Tikhookeanskaya St., 136

Candidate of Technical Sciences

E-mail: 007465@pnu.edu.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-21-28

Ц. ВАН, О.Ю. БУЛАТОВА, Х. ЦЗЯНГ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ НА ПРИМЕРЕ ОПЫТА КИТАЯ

***Аннотация.** В данной статье рассматривается история развития транспортной инфраструктуры Китая, а также определяются основные тенденции развития транспортной инфраструктуры с учетом современных технологий. Также в статье систематизирован опыт Китая в области применения инновационных подходов к управлению транспортной инфраструктурой, с целью определения аспектов эффективного функционирования современной транспортной инфраструктуры.*

***Ключевые слова:** транспортная инфраструктура, интеллектуальные транспортные системы, кооперативные интеллектуальные транспортные системы, высокоавтоматизированные транспортные средства*

### **Введение**

В 2024 году Китайской Народной Республике (КНР) исполнилось 75 лет. За этот период отмечается бурное развитие транспортной инфраструктуры Китая, включая не только автомобильный транспорт, но и воздушный, водный, железнодорожный. Понятие «Китайская скорость» также стало синонимом развития КНР.

На момент создания Китайской народной Республики транспортная инфраструктура Китая находилась в неудовлетворительном состоянии. Однако уже в первые годы правления коммунистической партии Китая был взят курс на восстановление и модернизацию существующих транспортных сетей, включая железные дороги и автомобильные дороги [1-5].

Целью работы является исследования опыта Китая в развитии транспортной инфраструктуры и определение инновационных подходов к обеспечению эффективной организации дорожного движения.

### **Материал и методы**

В период становления Китайской Народной Республики (1949г.) в транспортной инфраструктуре отмечается большое количество проблем. На территории всей страны было построено 80 800 километров дорог, открытых для движения, а количество личных автомобилей составляет 51 000. Большинство перевозок осуществляется гужевым транспортом.

К 1978 году дорожное сообщение на многих территориях страны оставалось неудовлетворительным, что серьезно влияло на качество перевозок. В октябре 1988 года была завершена и открыта для движения первая скоростная автомагистраль в Китае - Хуцзя. К настоящему времени скоростные автомагистрали Китая имеют стремительное развитие, совершив стремительный скачок с 0 до 140 000 километров [6-9].

Также отмечается изменение скорости движения железнодорожного транспорта. От паровоза со скоростью 30 километров в час до «Фукусына» со скоростью 350 километров в час, скорость колеблется от 8 метров в секунду до 100 метров в секунду. Китайские железные дороги претерпели потрясающие изменения, не только добившись стремительного роста объемов, но и значительно опередив мир по скорости сообщения.

До 1978 года обычным явлением был простой кораблей и грузов в портах, от нескольких дней до нескольких месяцев. В 1980 году ни один из 100 крупнейших портов мира не был связан с портами материкового Китая. На настоящий момент китайские порты установили судоходные связи с более чем 200 странами и регионами, и более чем 600 крупными портами мира, став важным звеном экономического обмена и сыграв важную роль в строительстве «Пояса и пути».

В 50-х годах прошлого века гражданская авиация имела всего 7 внутренних маршрутов и 8 городов в Китае, что считалось «роскошным транспортом». В наши дни полеты пере-



стали быть роскошью. Путешествия по воздуху стали очень распространенным видом транспорта, связывающим Китай со всем миром.

Пассажирский самолет C919 - первый в Китае реактивный среднемагистральный пассажирский самолет, разработанный в соответствии с международными стандартами. Первый самолет C919 был поставлен авиакомпании 9 декабря 2022 года.

Также БПЛА (беспилотный летательный аппарат), не только становятся важным элементом будущего экономического и социального развития, но и высоко ценятся мировыми военными державами, играя важную роль в реализации стратегии национальной безопасности. Во вспомогательном движении, наблюдении за живописными районами или туристической аэрофотосъемке, коммерческих выступлениях, БПЛА также показали большую эффективность [10-13].

История развития гражданских беспилотников, одобренная историческим срезом развития производства в Китае. Для отрасли изменения, произошедшие за последнее десятилетие, были не менее неожиданными. Более десяти лет назад беспилотники были еще далеки от обычных людей - менее 10 процентов китайского рынка дронов занимали гражданские беспилотники, а все остальные были военными. За десять лет китайские гражданские беспилотники достигли больших успехов в развитии. К 2024 году объем китайского рынка беспилотников достигнет 100 миллиардов юаней, из которых военные беспилотники составят около 35 миллиардов юаней, а гражданские - почти 65 миллиардов юаней. На гражданские беспилотники придется более 60 % рынка объемом 100 миллиардов долларов. На долю китайских беспилотников DJI приходится 75 % всех гражданских беспилотников в мире [14].

Гражданские беспилотники принято делить на две категории в зависимости от их назначения (рис. 2):

1) БПЛА потребительского класса, которые имеют относительно низкий технологический порог и небольшие размеры, и в основном используются для индивидуальной потребительской аэрофотосъемки;

2) БПЛА профессионального класса (или промышленного класса, industrial-grade), которые используются в таких областях, как геодезия и картография, защита окружающей среды, контроль электроэнергии, системы общественной безопасности, пожаротушение, логистика и транспорт и т. д., с различными технологическими акцентами в зависимости от различных областей применения.

В условиях стремительного развития гражданских беспилотников все больше пользователей используют БПЛА с целью демонстрации «китайской аутентичности»: небоскребы, природа, сельская местность, рисовые поля и проселочные дороги [15-18].

Далее рассмотрим современное состояние транспортной инфраструктуры Китая и определим наиболее эффективные технологии управления городской транспортной инфраструктурой.

### ***Теория / Расчет***

В условиях стремительного развития технологий интеллектуальный транспорт оказался в центре внимания. Интеграция «автомобиль-дорога-облако», как комплексное решение для интеллектуального движения и автоматического вождения, продвигаемое Китаем, ведет за собой изменения в функционировании транспортной инфраструктуры (рис. 1).

Интеграция «автомобиль-дорога-облако» - это сеть искусственного интеллекта для взаимодействия в реальном времени между интеллектуальным объектом и физическим миром, которая точно, быстро и эффективно собирает массивы данных путем интеграции сенсорных, вычислительных, коммуникационных и других устройств и технологий и осуществляет оцифровку реального физического мира в реальном времени на основе этих данных для решения проблем полноты информации, своевременности обработки и принятия решений, чтобы позволить интеллектуальному объекту принять оптимальное решение, что повышает эффективность городского движения и снижает количество дорожно-транспортных происшествий (рис. 2).



Рисунок 1 - Интеграция «автомобиль-дорога-облако»



Рисунок 2 - Оптимизация дорожного движения путем интеграции «автомобиль-дорога-облако»

Несмотря на преимущества данной системы, выделим ряд проблем (рис. 3):

- проблема полноты информации

Сколько бы датчиков ни было установлено в самоуправляемых автомобилях, всегда останутся «слепые зоны». В этот момент необходимо придорожное оборудование для получения глобальной информации и охвата каждого автомобиля для обеспечения безопасности движения. Интеграция облака с транспортным средством решает проблему полноты информации с помощью оборудования придорожной инфраструктуры.

- проблема своевременности обмена информацией

При возникновении нештатных ситуаций на дороге (выезд транспортного средства на встречную полосу, дорожно-транспортные происшествия и т.д.), информация должна быть своевременно передана всем участникам дорожного движения. Интегрированная дорожная облачная инфраструктура способна идентифицировать ДТП, обеспечить взаимодействие между транспортными средствами, обеспечивая безопасность дорожного движения комплексно.

- проблема принятия водительских решений

Когда в дорожном движении появляется большое количество высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС), он приходит в беспорядочное состояние. Интеграция облака данных о транспортных средствах и дорогах играет роль центральной системы принятия решений и систематического планирования решения проблем эффективности дорожного движения.



Рисунок 3 - Структура проблемных зон интеграции ТС-дорога-облако

Будущее направление развития интеллектуальной транспортной инфраструктуры - интеграция транспортных средств, дорог и облачных технологий – обеспечит эффективность дорожного движения.

Также на территории Китая наблюдается стремительное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ), обеспечивая новые возможности для современной транспортной системы. ИИ может не только оптимизировать управление транспортными потоками за счет эффективного анализа и обработки данных, но и сыграть ключевую роль в разработке высокоавтоматизированных транспортных средств [19].

В настоящее время автомобили находятся в процессе развития от «функциональных автомобилей» до «интеллектуальных сетевых автомобилей» и «самоуправляемых автомобилей». На внутреннем рынке платформа Apollo от Baidu предоставляет партнерам из автомобильной промышленности и сферы автономного вождения открытую и полную программную платформу для создания экосистемы умных автомобилей, аналогичной платформе Android для смартфонов. В то же время почти все отечественные и зарубежные автопроизводители и поставщики автозапчастей усердно работают над исследованиями и разработкой интеллектуальных автомобилей и их компонентов, а также стремятся к масштабной коммерциализации систем автономного вождения [20].

Автономное вождение - это передовой этап в развитии интеллектуальных транспортных средств, который охватывает множество технических областей, таких как цифровая информация, автоматическое управление, навигационные системы, искусственный интеллект, проектирование транспортных средств и так далее, и является самым передовым направлением исследований в области интеллектуального транспорта на сегодняшний день. На настоящий момент существуют ограничения, связанные с распознаванием окружающей среды, принятием водительских решений, планированием маршрута, контролем и других аспектов. Также для реализации беспилотного вождения необходимо реализовать дорожную интеллектуальную транспортную систему.

Дорожная интеллектуальная транспортная система - это система, состоящая из автомобилей, дорожной инфраструктуры, транспортной инфраструктуры, информации, которые представляют собой интегрированную систему, обеспечивающую безопасность движения ВАС. Система включает в себя природные и искусственные, статические и динамические, управляющие и поведенческие системы. Данная система позволяет использовать ее в качестве «мозга города», «умного города» и голографического зондирования дорожного движения (рис. 4).

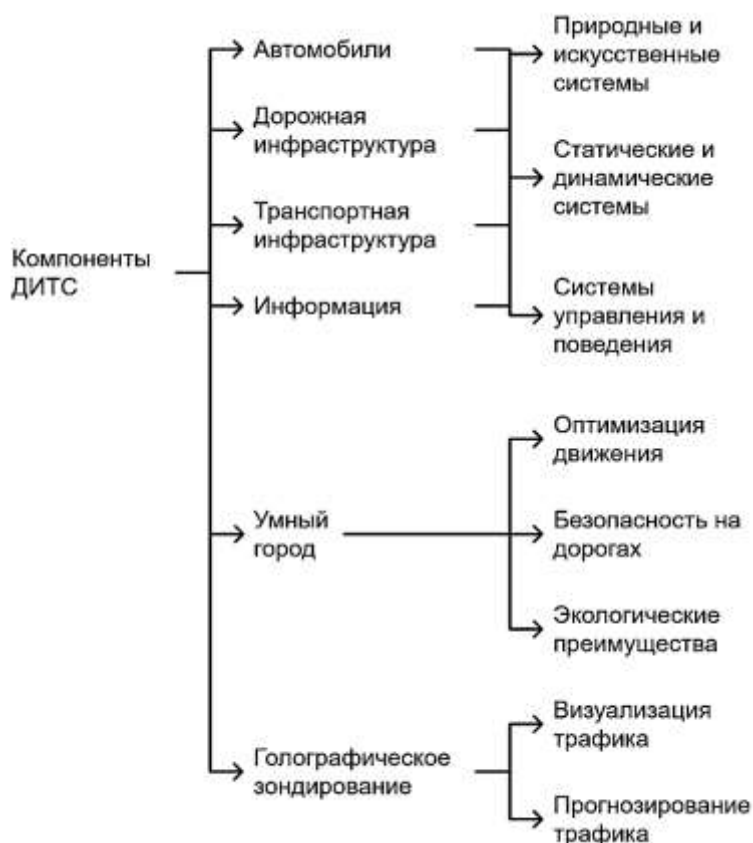


Рисунок 4 - Структура дорожной интеллектуальной транспортной системы (ДИТС)

В настоящее время типичной для Китая является «Система городского мозга AliCloud». Система включает в себя решения по управлению дорожным движением, интеллектуальные транспортные решения, интеллектуальные парковочные решения, интеллектуальные решения по городским инфраструктурам, интеллектуальные решения по чрезвычайным ситуациям, государственный центр обработки данных и другие решения.

Платформа Huawei Smart City Platform - это комплексная прикладная система, объединяющая искусственный интеллект, IoT, большие данные, ГИС, видео, облако, конвергентные коммуникации и безопасность. Две ее ключевые возможности: бизнес-сценарии для городской мобильности и обеспечение экологической безопасности. Платформа Huawei Smart City Platform глубоко интегрирует новые технологии в государственные бизнес-услуги и городские прикладные сервисы, способствует развитию цифровой экономики, повышению уровня жизни населения и достижению целей эффективного управления и повышения качества жизни граждан.

#### **Результаты и обсуждение**

Анализ развития транспортной инфраструктуры Китая, показал, что ключевым аспектом реализации эффективной транспортной инфраструктуры является применение современных транспортных технологий (рис. 5).

#### **Выводы**

Современный Китай, уже ставший транспортной державой и продолжающий развиваться быстрыми темпами, в будущем еще больше расширит применение технологий ИИ в транспортном секторе. С распространением новых технологий, таких как 5G и IoT, ИИ сможет обеспечить более широкий и глубокий сбор и анализ данных, предлагая более точные и эффективные решения для управления транспортными системами. По мере развития технологий и расширения сферы их применения транспортные системы будущего станут умнее и эффективнее, обеспечивая людям более удобные и безопасные поездки.

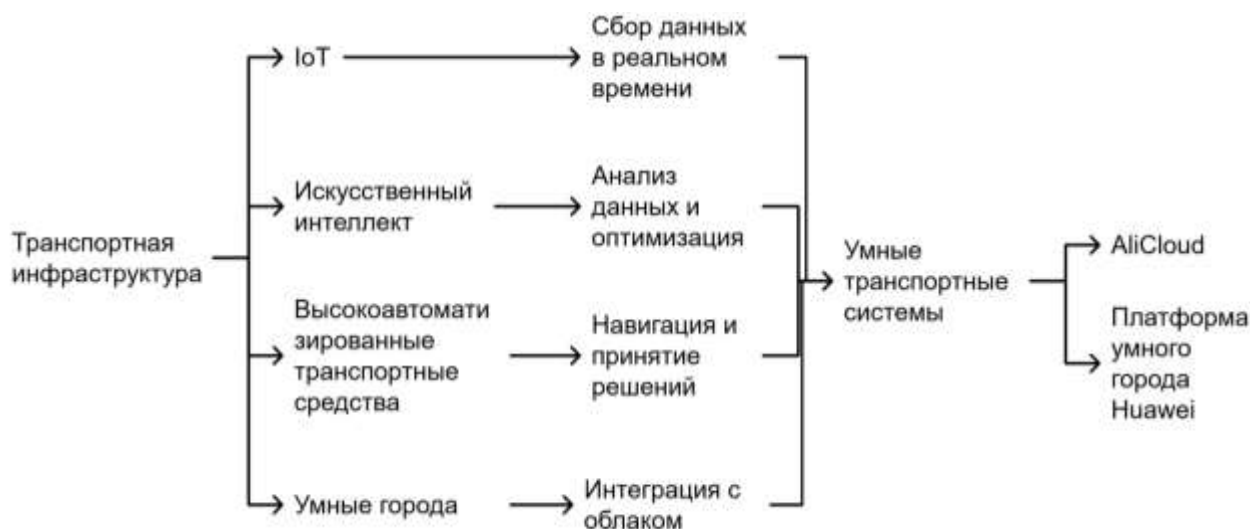


Рисунок 5 - Современные подходы к управлению городской транспортной инфраструктурой

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатова О.Ю., Зырянов В.В. Задачи организации дорожного движения при возникновении инцидентов во время проведения городских массовых мероприятий // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(83). С. 67-73. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-67-73. EDN TJWEAI.
2. 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 RPJYVD.
3. Зедгенизов А.В., Брянских Т.Б., Курдюков С.Ю. Организация дорожного движения при транспортном обслуживании жителей многоквартирной застройки // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-3(82). С. 96-101. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-96-101. EDN JEQKBF.
4. Zyryanov V., Bulatova O. Elasticity coefficient for forecasting of the developing alternative routes results // MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 334. P. 01008. DOI 10.1051/mateconf/202133401008. EDN RLAUPJ.
5. Криволапова О.Ю., Феофилова А.А. Методология снижения затрат на поездку при прогнозировании объема движения на выбранных маршрутах // Интернет-журнал Науковедение. 2013. №3(16). С. 151. EDN QZXZUF.
6. Kashtalinsky A.S., Parsaev E.V., Teterina I.A. Local adaptive road control crossroads // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Sevastopol. 2020. P. 052082. DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052082. EDN EIXTDF.
7. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Васильева В.В. Внедрение интеллектуальной транспортной системы Ramp Metering на примере г. Белгород // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №4(63). С. 42-48.
8. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Исследование степени насыщения пересечения при учете классификации легковых автомобилей // Автотранспортное предприятие. 2014. №5. С. 51-53.
9. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.
10. Ли С., Зырянов В.В. Кластерная оценка качества транспортного обслуживания // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-1(85). С. 16-22. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-16-22. EDN XALEZZ.
11. Коновалова Д.А., Булатова О.Ю. Применение интеллектуальных транспортных систем с целью снижения уровня ДТП // Магистратура – автотранспортной отрасли: материалы VII Всероссийской межвузовской конференции. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2023. С. 268-274. EDN IAFOEF.
12. Новописный И.А., Шевцова А.Г., Макагонов А.Е. Сравнительный анализ программ безопасности дорожного движения Германии и Российской Федерации // Техника и технологии строительства. 2015. №4(4). С. 11-17.
13. Жанказиев С.В., Короткова Ю.А. Сервисная полоса ИТС // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №2(36). EDN JXBGXZ.
14. 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.
15. Кашталинский А.С., Порхачева С.М. Изучение свойств транспортного потока в городских условиях на основе интенсивности движения // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 106-й Международной научно-технической конференции. Иркутск: Иркутский национальный

исследовательский технический университет. 2019. С. 576-583. EDN WBIMQW.

16. Mavzovin V., Klevanskiy N., Orekhovskaya A. [et al.] Mathematical model of the formation of transport schedules for regular passenger traffic // Third International Conference on Optics, Computer Applications, and Materials Science (CMSD-III 2023). Vol. 13065. Washington: spie-soc photo-optical instrumentation engineers. 2024. P. 130650B. DOI 10.1117/12.3024924. EDN LWLFLP.

17. Кущенко Л.Е., Еремин С.В., Королева Л.А., 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. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-82-92. EDN GBFGIT.

18. Цзянг Х., Булатова О.Ю., Ли И., Хань М. Применение этограммы поведения водителя с целью исследования характеристик неблагоприятного вождения // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-3(86). С. 39-47. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-39-47. EDN XJBUIV.

19. Зырянов В.В., Цзянг Х. Применение макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока с использованием данных системы видеонаблюдения на улично-дорожной сети Г. Цзинань КНР // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2021): Труды конференции. Санкт-Петербург: АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2021. С. 574-580. EDN FZKYSF.

20. Новиков А.Н., Еремин С.В., Кулев А.В., Ломакин Д.О. Проблемы внедрения интеллектуальных транспортных систем в регионах // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №1(72). С. 47-54. DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-47-54. EDN LJEINH.

**Ван Цзэхай**

Донской государственный технический университет

Адрес: 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

Магистрант

E-mail: 1283123297@qq.com

**Булатова Ольга Юрьевна**

Донской государственный технический университет

Адрес: 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

К.т.н., доцент кафедры организации перевозок и дорожного движения

E-mail: mip.rnd@yandex.ru

**Цзянг Хайянь**

Шандунский транспортный университет

Адрес: 250357, Китай, г. Цзинань, провинция Шаньдун, ул. Хайтан, 5001

К.т.н., преподаватель кафедры «Организация дорожного движения»

E-mail: jiang.live.in.rus@mail.ru

---

W. ZEHAI, O. YU. BULATOVA, H. JIANG

## TRANSPORT INFRASTRUCTURE MANAGEMENT MODERN APPROACHES DEFINING USING THE EXAMPLE OF CHINA'S EXPERIENCE

**Abstract.** In 2024, the People's Republic of China (PRC) turned 75 years old. During this period, there has been a rapid development of China's transport infrastructure, including not only road transport, but also air, water, and rail. The concept of «Chinese speed» has also become synonymous with the development of China. This article examines the history of the development of China's transport infrastructure, as well as identifies the main trends in the development of transport infrastructure, taking into account modern technologies. The article also systematizes China's experience in the application of innovative approaches to transport infrastructure management, in order to determine aspects of the effective functioning of modern transport infrastructure.

**Keywords:** transport infrastructure, China, intelligent transport system, logistics, cooperative intelligent transport systems, highly automated vehicles

## BIBLIOGRAPHY

1. Bulatova O.YU., Zyryanov V.V. Zadachi organizatsii dorozhnogo dvizheniya pri vozniknovenii intsidentov vo vremya provedeniya gorodskikh massovykh meropriyatiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-1(83). С. 67-73. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-67-73. EDN TJWEAI.

2. Krivolapova O.YU. Metod opredeleniya uchastkov pereraspredeleniya transportnoy nagruzki na seti // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy. 2013. Т. 7. №21(124). С. 77-80. EDN RPJVYD.

3. Zedgenizov A.V., Bryanskikh T.B., Kurdyukov S.YU. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya pri transportnom obsluzhivaniy zhitel'ey mnogoetazhnoy zastroyki // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-3(82). S. 96-101. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-96-101. EDN JEKQBF.
4. Zyryanov V., Bulatova O. Elasticity coefficient for forecasting of the developing alternative routes results // MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 334. P. 01008. DOI 10.1051/mateconf/202133401008. EDN RLAUPJ.
5. Krivolapova O.YU., Feofilova A.A. Metodologiya snizheniya zatrat na poezdki pri prognozirovani ob"ema dvizheniya na vybrannykh marshrutakh // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. №3(16). S. 151. EDN QZXZUF.
6. Kashtalinsky A.S., Parsaev E.V., Teterina I.A. Local adaptive road control crossroads // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Sevastopol. 2020. P. 052082. DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052082. EDN EIXTDF.
7. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Vasil'eva V.V. Vnedrenie intellektual'noy transportnoy sistemy Ramp Metering na primere g. Belgorod // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №4(63). S. 42-48.
8. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Issledovanie stepeni nasyshcheniya peresecheniya pri uchete klassifikatsii legkovykh avtomobiley // Avtotransportnoe predpriyatie. 2014. №5. S. 51-53.
9. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.
10. Li S., Zyryanov V.V. Klasternaya otsenka kachestva transportnogo obsluzhivaniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №2-1(85). S. 16-22. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-16-22. EDN XALEZZ.
11. Konovalova D.A., Bulatova O.YU. Primenenie intellektual'nykh transportnykh sistem s tsel'yu snizheniya urovnya DTP // Magistratura - avtotransportnoy otrasli: materialy VII Vserossiyskoy mezhvuzovskoy konferentsii. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. 2023. S. 268-274. EDN IAFOEF.
12. Novopisnyy I.A., Shevtsova A.G., Makagonov A.E. Sravnitel'nyy analiz programm bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya germanii i Rossiyskoy Federatsii // Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva. 2015. №4(4). S. 11-17.
13. ZHankaziev S.V., Korotkova YU.A. Servisnaya polosa ITS // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. 2023. №2(36). EDN JXBGXZ.
14. 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.
15. Kashtalinsky A.S., Porkhacheva S.M. Izuchenie svoystv transportnogo potoka v gorodskikh usloviyakh na osnove intensivnosti dvizheniya // Bezopasnost' kolosnykh transportnykh sredstv v usloviyakh ekspluatatsii: materialy 106-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Irkutsk: Irkutskiy natsional'nyy issledovatel'skiy tekhnicheskii universitet. 2019. S. 576-583. EDN WBIMQW.
16. Mavzovin V., Klevanskiy N., Orekhovskaya A. [et al.] Mathematical model of the formation of transport schedules for regular passenger traffic // Third International Conference on Optics, Computer Applications, and Materials Science (CMSD-III 2023). Vol. 13065. Washington: spie-soc photooptical instrumentation engineers. 2024. P. 130650B. DOI 10.1117/1.2.3024924. EDN LWLFLP.
17. Kushchenko L.E., Eremin S.V., Koroleva L.A., Savenkova A.YU. Opredelenie 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. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-82-92. EDN GBFGIT.
18. TSzyang H., Bulatova O.YU., Li I., Han' M. Primenenie etogrammy povedeniya voditelya s tsel'yu issledovaniya kharakteristik neblagopriyatnogo vozhdeniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-3(86). S. 39-47. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-39-47. EDN XJBUIV.
19. Zyryanov V.V., TSzyang H. Primenenie makroskopicheskoy fundamental'noy diagrammy transportnogo potoka s ispol'zovaniem dannykh sistemy videonablyudeniya ulichno-dorozhnoy seti G. TSzinyan' KNR // Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika (IMMOD-2021): Trudy konferentsii. Sankt-Peterburg: AO «Tsentr tekhnologii sudostroeniya i sudoremonta», 2021. S. 574-580. EDN FZKYSF.
20. Novikov A.N., Eremin S.V., Kulev A.V., Lomakin D.O. Problemy vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem v regionakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №1(72). S. 47-54. DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-47-54. EDN LJEINH.

**Wang Zehai**

Don State Technical University  
Address: 344000, Russia, Rostov-on-Don  
Master's student  
E-mail: 1272105371@qq.com

**Jiang Haiyan**

Shandong Jiaotong University  
Address: 250357, China, Jinan, Haitang Str., 5001  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: jiang.live.in.rus@mail.ru

**Bulatova Olga**

Don State Technical University, Rostov-on-Don  
Address: 344011, Russia, Rostov-on-Don  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: mip.rnd@yandex.ru



Научная статья

УДК 330.115

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-29-35

В.П. БЕЛОКУРОВ, Е.А. ПАНЯВИНА, Э.Н. БУСАРИН, Р.А. КОРАБЛЕВ

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ В ЭФФЕКТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

**Аннотация.** Рассматриваются экономические механизмы повышающие эффективность управления пассажирских автоперевозок. При этом особая роль уделена механизмам поощрения себестоимости перевозок и договорным тарифам на транспортные услуги, что обеспечит повышение качества и рентабельность транспортного процесса.

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, экономические механизмы, управление себестоимостью, тарифы на автоперевозки

### Введение

Известно, что городской пассажирский транспорт является в какой-то мере убыточным. В связи с этим часть расходов по организации пассажирских перевозок в городах обеспечивается за счёт дотаций из центрального и местного бюджета. Так как финансовые возможности городов России ограничены, то особую актуальность приобретают вопросы по совершенствованию организации работы городского пассажирского транспорта.

При этом также важную роль имеет точные и обоснованные оценки экономической эффективности мероприятий по совершенствованию организации и управлению пассажирскими перевозками особенно в больших городах.

### Материал и методы

Экономический механизм управления в технологии транспортных процессов, в частности организации пассажирских перевозок в городах, возник как альтернативный административному управлению. При этом под экономическим методом понимается управление через ценностные механизмы при значительной самостоятельности хозяйственных единиц предприятий автоперевозчиков. Так как вопрос цены пассажирских автоперевозок и выделение при этом при необходимости финансовых дотации, а также отчислений от прибыли решается управляющим органом департамента по транспорту, то, по существу, эти «экономические рычаги» и определяют управления на автотранспорте [1]. Однако эффективность управления при этом будет достигаться с учётом интересов руководства департамента по транспорту и руководству малыми предприятиями по транспорту. В этом случае возникают следующие способы управления:

- 1) назначение тарифа на перевозку пассажиров ( $y_i$ );
- 2) осуществление финансовых выплат по результатам пассажирских автоперевозок  $y_i(x_i)$  (отчисления в бюджет, в фонд поощрения и т. д.);
- 3) выделение ресурсов ( $y_i(x_i(y_i))$ ).

Параметр ( $x$ ) определяет перевозчиков на автомобильном транспорте [2], которые в целом образуют множество  $\chi$ , то есть  $x = (x_1, \dots, x_n) \in \chi$ .

В рамках этих представлений и формируются некоторые оптимизационная задача по организации и управления пассажирскими автоперевозками с учётом дополнительных возможностей, таких как повышение качества перевозок, безопасности транспортного процесса, улучшения системы управления и т.д. Для реализации этих возможностей используются механизм стимулирования работников автотранспорта [3].

**Теория / Расчет**

Создание экономических механизмов эффективного управления в автотранспортных системах носит иерархический характер, позволяющий оптимизировать функционирование пассажирских автотранспортных предприятий на основании договорных обязательств между автотранспортными управлениями «руководство» и непосредственно с организациями обеспечивающими перевозку пассажиров («исполнители»). «Исполнители» по организации автоперевозок, как правило, имеют полную и своевременную информацию о состоянии перевозочного процесса, чем в муниципальном, «руководстве». В связи с этим располагая определенной свободой выбора в принятии решений действия «исполнителей» в условиях устранения незначительных «шумов» могут быть более эффективными, чем указания «руководства». Однако, в то же время, «руководство» является выразителем стратегической цели, которая обеспечивает устранение социальных проблем пассажирских перевозок с учетом поступающих воздействий внешних неопределенных факторов.

В связи с этим вопрос совершенствования оптимального сочетания централизации и децентрализации является одним из основных в проблеме синтеза иерархической системы управления при организации пассажирских перевозок.

Рассмотрим систему, представляющую двухуровневую иерархию, состоящей из «руководства» и  $(n)$  «исполнителей» имеющих структуру «веера». Их критериями соответственно будут являться:

$$w_o = f_o(y_1, \dots, y_n; x_1, \dots, x_n); \quad (1)$$

$$w_i = f_i(y_i, x_i) \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

При этом «руководство» выбирает свой вектор воздействия  $(y_1, \dots, y_n)$  из некоторого множества  $Y$ , то есть

$$(y_1, \dots, y_n) \in Y. \quad (3)$$

Суммарный размер поощрений и назначение тарифа ограничены и не должны превышать указанных пределов и т.д. В свою очередь количество перевозчиков  $(x_i)$  также ограничено физическими и экономическими нормами, то есть

$$x_i \in X_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (4)$$

Будем предполагать, что принцип принятия решений «руководством» известен каждому «исполнителю». В этом случае, в ситуации, где исход зависит только от его выбора, представляется возможным производить его эффективную оптимизацию. Стратегия «руководства» в этом случае будет иметь вид:

$$\bar{y}_i = y_i(x_i). \quad (5)$$

Стратегия «руководства» (5) состоит из двух элементов: премии, которая обеспечивает «исполнителю» увеличение заработной платы и введение «штрафа» - стратегии наказания, которая минимизирует его возможную заработную плату (но при этом она должна быть не меньше его прожиточного минимума). При этом «исполнители» выбирают, как правило, поощрение (премии) обеспечивая эффективность и качество пассажирских перевозок.

Рассмотрим в достаточно общем виде одну из возможных постановок проблемы стимулирования, которая влияет на эффективность управления пассажирскими автоперевозками [4]. Пусть  $(x_i)$  – вектор, отражающий у  $i$ -го перевозчика, качество пассажирских перевозок, а также производительность пассажирских перевозок на линии и т.д.;  $(y_i)$  вектор, отражающий стимулирование со стороны руководства. Прибыль (стимулирование)  $i$ -го перевозчика  $(w_i)$  состоит из дохода  $\varphi(y_i)$  получаемого в результате перевозки пассажиров, за вычетом затрат от вектора  $(x_i)$  и параметров  $(p_i)$  находящихся в распоряжении руководства, обеспечивающего пассажирские перевозки [5], то есть:

$$w_i = \varphi(y_i) - \psi(x_i, p_i); \quad i = 1, \dots, n, \quad (6)$$

где  $p_i$  - один из параметров управления (премии или штрафа) используемый руководством по организации пассажирских перевозок.

Используя стратегию, например штрафов  $\rho_i$  руководство получает возможность просто лишать премии, что будет побуждать перевозчиков работать в интересах руководства по обеспечению пассажирских перевозок. При этом премия перевозчика при соблюдении качества перевозочного процесса также составит осязаемую величину, за которую необходимо потрудиться перевозчику. Эти вопросы могут быть изучены в рамках пошаговых операций [6].

Вектор доходов  $(y_i)$  можно разделить на три векторные компоненты:  $(y_i^1)$  - денежное поощрение (премии);  $(y_i^2)$  - моральные поощрения;  $(y_i^3)$  - дополнительный финансовый ресурс, расширяющий возможности руководству по обеспечению качества пассажирских перевозок [7]. Ограничение на выбор руководством  $(x_i)$  и  $(p_i)$  в общем виде будет иметь следующий вид:

$$h_i(x_i, p_i, y_i^3) \geq 0; \quad i = 1, \dots, n. \quad (7)$$

Эти ограничения (7) имеют смысл производственной функции при организации пассажирских перевозок. Управление по организации пассажирских перевозок при этом ограничено в выборе каждого вида стимулирования [8].

$$g^1(y_1^1, \dots, y_n^1) \geq 0; \quad g^2(y_1^2, \dots, y_n^2) \geq 0; \quad g^3(y_1^3, \dots, y_n^3) \geq 0. \quad (8)$$

Таким образом руководство управления по пассажирским перевозкам и перевозчики стремятся удовлетворить критерий (6), при условии удовлетворения ограничений (7) и (8).

Распределение финансовых ресурсов  $(y_i^3)$  руководством пассажирских перевозок можно выразить через производственную функцию, которая учитывает непосредственно автоперевозчиков, то есть

$$x_i = \rho_i y_i^3, \quad i = 1, \dots, n. \quad (9)$$

Причём выбор  $(\rho_i)$  находится в рассмотрении руководства, которое используют следующий критерий

$$W_i = y_i^1 - \Psi_i(p_i, x_i), \quad i = 1, \dots, n. \quad (10)$$

Таким образом критерий (10) и ограничения (7) зависят только от  $(x_i)$  и  $(y_i^1)$ , где  $y_i^1(x_i)$  может быть использована в качестве стратегии стимулирования. Наилучший результат становится функцией от  $((y_1^3, \dots, y_n^3))$  и его следует максимизировать по этим величинам [9]. В результате получено распределение финансовых ресурсов с учётом предстоящих премирования.

При этом также следует отметить, что важнейшей экономической характеристикой в разработке эффективных мероприятий по совершенствованию организации работы городского пассажирского транспорта является и его себестоимость перевозок  $(C)$  [10]. Величина  $(C)$  зависит от эксплуатационных расходов (постоянных и переменных), отнесённых к единицы объема совершаемой транспортной работы  $(R)$ , которая в соответствии со справочником [11] может быть записана в виде:

$$R = \omega l_p \beta \gamma, \quad (11)$$

где  $(\omega)$  - пассажировместимость автобуса, пасс.;

$l_p$  - рабочий пробег автобуса, км;

$\beta$  - коэффициент использования пробега;

$\gamma$  - динамический коэффициент использования пассажировместимости.

Исходя из зависимости (6) производительность автобуса  $(W)$  можно выразить формулой [12]:

$$W = \omega v_T \alpha \beta \gamma, \quad (12)$$

где  $\alpha$  - коэффициент использования скорости;

$v_T$  - среднетехническая скорость автобуса, км/ч.

В зависимости (12) величины параметров  $(\omega)$  и  $(v_T)$  для заданных типов подвижного состава и условий движения являются постоянными и не зависящими от способа организации движения автобусов в отличие от величин  $(\alpha)$ ,  $(\beta)$  и  $(\gamma)$ . Введём обозначение:

$$W_0 = \omega v_T; \quad (13)$$

$$x = \alpha \beta \gamma, \quad 0 < x \leq 1. \quad (14)$$

Величина ( $W_0$ ) представляет собой максимально возможную производительность автобуса, а ( $x$ ) представляют собой комплексный (интегральный) коэффициент использования подвижного состава, учитывающий степень использования скорости ( $\alpha$ ), пробега ( $\beta$ ) и пассажировместности ( $\gamma$ ) [13].

Следует отметить, что на эффективность управления и организацию пассажирских перевозок существенно влияет себестоимость перевозочного процесса [14].

Зависимость себестоимости автобусных перевозок ( $C$ ) от показателей перевозочного процесса в результате несложных преобразований можно представить в следующем виде:

$$C = \frac{C_l + C_T}{\omega \beta \gamma} = \frac{C_3}{\omega \beta \gamma}, \quad (15)$$

где ( $C_l$ ) - переменные расходы на 1 км пробега автобуса, руб./км;

$C_T$  - постоянные расходы на 1 час работы руб./ч;

$C_3$  - себестоимость 1 км пробега автобуса руб./км.

Величина показателей ( $C_l$ ) определяется суммой приведённых затрат на: топливо, смазочные материалы, шины, техническое обслуживание и ремонт автобусов, на экологию, руб/км.

Величина показателя ( $C_T$ ) определяется суммой:

$$C_T = C_{3н} + C_n, \quad (16)$$

где  $C_{3н}$  - произведённая заработная плата водителей, руб./ч;

$C_n$  - произведённые накладные расходы, руб./ч.

Величины показателей ( $C_l$ ) и ( $C_T$ ) определяются с учётом соответствующих изменений в ценах на материалы и расценках на произведённую работу.

Следует отметить, что рентабельность пассажирских автотранспортных предприятий существенно зависит от тарифов на перевозку пассажиров [15].

### Результаты

Анализ действующих тарифов на пассажирском автотранспорте, в условиях перехода автотранспортных предприятий на самофинансирование и полный хозяйственные расчёт показывает, что существующая тарифная система в неполной мере отвечает современным требованиям. Так не всегда обеспечивается рентабельная работа пассажирского автотранспорта и не стимулируется повышение качества перевозок пассажиров. Необходимость и порядок применения договорных тарифов определяется при использовании «Положения о порядке применения договорных тарифов на предприятиях Министерства автомобильного транспорта» утверждённым министерством автомобильного транспорта [16].

Предлагается, что при обосновании величины договорного тарифа необходимо производить учёт его влияния на формирование спроса на предлагаемый вид перевозок, который в свою очередь зависит от производственных издержек. В связи с этим необходимо регламентация величины договорного тарифа с учётом следующего условия:

$$C' = \left( \frac{L_n}{V_n} + t_{ож} + \frac{L_g}{V_g F} \right) S + Ц, \quad (17)$$

где  $C'$  - величина производственных затрат в стоимостную оценку;

$L_n$  - расстояние, пройденное пассажирам до остановки, км;

$V_n$  - скорость пешего передвижения пассажира, км/ч;

$t_{ож}$  - время ожидания, ч;

$L_g$  - среднее расстояние поездки пассажира, км;

$V_g$  - скорость движения транспортного средства, км/ч;

$F$  - функция учитывающая комфортность поездки;

$S$  - стоимостная оценка времени, руб./ч;

$Ц$  - стоимость проезда, руб.

Величина договорного тарифа перевозки пассажиров ( $T$ ) может быть определена по формуле:

$$T = \frac{3 \cdot K_p}{Q(1 - K_g)}, \quad (18)$$

где 3 - затраты на перевозку пассажиров, руб;

$K_p$  - норматив рентабельности перевозок;

$K_g$  - коэффициент отчислений на строительство и ремонт дорог;

$Q$  - количество перевозимых пассажиров.

Договорные тарифы на городские пассажирские перевозки вводятся в действие решением на основе договора между автотранспортными предприятиями и организацией – заказчиком [17].

При этом соблюдается обоснованность величины тарифа и не допускается его завышение, в условиях полного хозяйственного расчёта и самофинансирования.

### **Обсуждение**

Использование чисто административных методов управления пассажирскими перевозками является малоэффективным. Альтернативным данному методу является экономический при значительной самостоятельности руководителем по организации пассажирских перевозок. Это происходит с учетом интересов как непосредственно перевозчиков, так и организаторов данного процесса. Речь идет о моделях стимулирования в системе управления автоперевозками, а также учета себестоимости процесса перевозок, что обеспечит эффективность системы управления.

Учитывая значительные изменения в ценах на топливо и другие материалы, приводить абсолютные значения величин в настоящее время бессмысленно. Однако их соотношения в оценке эффективности управления пассажирскими перевозками в основном сохраняются. Это позволяет оценить значения отдельных составляющих и степень их влияния как на себестоимость автоперевозок, так и на оценку экономической эффективности мероприятий по совершенствованию организации управления пассажирскими автоперевозками.

### **Выводы**

Таким образом, следует отметить, что особую роль в управлении пассажирскими автоперевозками необходимо уделять экономическим мероприятиям по эффективному совершенствованию организации пассажирского перевозочного процесса, особенно в больших городах.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Антоношвили М.Е., Либерман С.Ю., Спирин И.В. Оптимизация городских автобусных перевозок // М.: Транспорт, 1985. 102 с.
2. Айзерман М.А. Выбор вариантов: основы теории. М.: Наука, 1990. 240 с.
3. Спирин И.В. городские автобусные перевозки. Справочник. М. Транспорт 1991. 238 с.
4. Либерман С.Ю. Оценка экономической эффективности мероприятий по совершенствованию организации автобусных перевозок в городах. Информ // Информавтотранс. 1992. 20 с.
5. Белокуров С.В., Белокуров В.П. Оптимизация многоцелевых транспортных задач при использовании алгоритма анализа и отсева на итерациях поиска решений // Транспорт: наука, техника, управление. Москва: ВИНТИ РАН. №6. 2009. С. 2-4.
6. Белокуров С.В., Скрыль С.В., Белокуров В.П. Особенности модели оптимального управления процесса отсева решений на базе синтеза теории выбора в транспортных системах // Транспорт. Наука, техника, управление: науч. информ. сб. РАН. Москва: ВИНТИ. 2010. №1. С. 5-9.
7. Белокуров В.П., Белокуров С.В., Скрыль С.В. Принятие решений для эффективного управления транспортными системами на основе ситуаций выбора // Транспорт: наука, техника, управление: Научный информационный сборник ВИНТИ РАН. №2. 2010. С. 6-12.
8. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2000. 296 с.
9. Сысоев А.С., Ляпин С.А., Галкин А.В. Интеллектуальные методы управления транспортными системами. 3-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2023. 192 с.
10. Петров В.В. Теория управления движением транспортных потоков в городах. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2020. 101 с.
11. Belokurov V.P., Spodarev R.A., Belokurov S.V. Determining passenger traffic as important factor in urban public transport system // Transportation research Procedia: XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020). 2020. P. 52-58.

12. Belokurov, V.P., Belokurov, S.V., Korablev, R.A., Shtepa, A.A. Models of expert assessments and their study in problems of choice and decision-making in management of motor transport processes // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 1015(3). 032132.
13. Belokurov V., Belokurov S., Zolnikov V. Modeling passenger transportation processes using vehicles of various forms of ownership // Transportation Research Procedia. 2018. №36. P. 44-49.
14. Kaufmann A., Gupta M.M. Fuzzy mathematical models in engineering and management science – Amsterdam: North-Holland, 1998. P. 195.
15. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and optimization of flows on networks. Cetaro.: C.I.M.E. 2009. P. 150.
16. Belokurov S.V., Belokurov V.P., Zolnikov V.K., Cherkasov O.N. Methods of multi-criteria optimization in problems of simulation of trucking industry // Transportation research procedia. 2017. №20. P. 47-52.
17. Shen X., Yao X. Mathematical modeling and multiobjective evolutionary algorithms applied to dynamic flexible job shop scheduling problems // Information Sciences. 2015. Vol. 298. P. 198-224.

**Белокуров Владимир Петрович**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова  
 Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8  
 Д.т.н., профессор, профессор кафедры организации перевозок и безопасности движения  
 E-mail: opbd\_vglta@mail.ru

**Панявина Екатерина Анатольевна**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова  
 Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8  
 К.э.н., доцент кафедры менеджмента и экономики предпринимательства  
 E-mail: uproiz@vglta.vrn.ru

**Бусарин Эдуард Николаевич**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова  
 Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8  
 К.т.н., доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения  
 E-mail: busarin.eduard@mail.ru

**Кораблев Руслан Александрович**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова  
 Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8  
 К.с/х н., доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения  
 E-mail: korablev\_ruslan@mail.ru

---

V.P. BELOKUROV, E.A. PANYAVINA, E.N. BUSARIN, R.A. KORABLYOV

## ECONOMIC MECHANISMS IN EFFECTIVE MANAGEMENT TO IMPROVE THE ORGANIZATION OF PASSENGER TRANSPORTATION

**Abstract.** *Economic mechanisms that increase the efficiency of passenger road transportation management are considered. At the same time, a special role is given to mechanisms for encouraging the cost of transportation and negotiated tariffs for transport services, which will ensure improved quality and profitability of the transport process.*

**Keywords:** *passenger transportation, economic mechanisms, cost management, tariffs for road transportation*

### BIBLIOGRAPHY

1. Antonoshvili M.E., Liberman S.YU., Spirin I.V. Optimizatsiya gorodskikh avtobusnykh perevozok // М.: Transport, 1985. 102 s.
2. Ayzerman M.A. Vybor variantov: osnovy teorii. М.: Nauka, 1990. 240 s.
3. Spirin I.V. gorodskie avtobusnye perevozki. S spravochnik. М. Transport 1991. 238 s.

4. Liberman S.YU. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti meropriyatiy po soversheniyu organizatsii avtobusnykh perevozok v gorodakh. Inform // Informavtotrans. 1992. 20 c.
5. Belokurov S.V., Belokurov V.P. Optimizatsiya mnogotselevykh transportnykh zadach pri ispol'zovanii algoritma analiza i otseva na iteratsiyakh poiska resheniy // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Moskva: VINITI RAN. №6. 2009. S. 2-4.
6. Belokurov S.V., Skryl' S.V., Belokurov V.P. Osobennosti modeli optimal'nogo upravleniya protses-sa otseva resheniy na baze sinteza teorii vybora v transportnykh sistemakh // Transport. Nauka, tekhnika, upravlenie: nauch. inform. sb. RAN. Moskva: VINITI. 2010. №1. S. 5-9.
7. Belokurov V.P., Belokurov S.V., Skryl' S.V. Prinyatie resheniy dlya effektivnogo upravleniya transportnymi sistemami na osnove situatsiy vybora // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie: Nauchnyy informatsionnyy sbornik VINITI RAN. №2. 2010. S. 6-12.
8. Larichev O.I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy. M.: Logos, 2000. 296 s.
9. Sysoev A.S., Lyapin S.A., Galkin A.V. Intel'ktual'nye metody upravleniya transportnymi sistemami. 3-e izd. M.: Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya «Dashkov i K», 2023. 192 s.
10. Petrov V.V. Teoriya upravleniya dvizheniem transportnykh potokov v gorodakh. Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil'no-dorozhnyy universitet (SibADI), 2020. 101 s.
11. Belokurov V.P., Spodarev R.A., Belokurov S.V. Determining passenger traffic as important factor in urban public transport system // Transportation research Procedia: XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020). 2020. P. 52-58.
12. Belokurov, V.P., Belokurov, S.V., Korablev, R.A., Shtepa, A.A. Models of expert assessments and their study in problems of choice and decision-making in management of motor transport processes // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 1015(3). 032132.
13. Belokurov V., Belokurov S., Zolnikov V. Modeling passenger transportation processes using vehicles of various forms of ownership // Transportation Research Procedia. 2018. №36. P. 44-49.
14. Kaufmann A., Gupta M.M. Fuzzy mathematical models in engineering and management science - Amsterdam: North-Holland, 1998. P. 195.
15. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and optimization of flows on networks. Cetaro.: C.I.M.E. 2009. P. 150.
16. Belokurov S.V., Belokurov V.P., Zolnikov V.K., Cherkasov O.N. Methods of multicriteria optimization in problems of simulation of trucking industry // Transportation research procedia. 2017. №20. P. 47-52.
17. Shen X., Yao X. Mathematical modeling and multiobjective evolutionary algorithms applied to dynamic flexible job shop scheduling problems // Information Sciences. 2015. Vol. 298. P. 198-224.

**Belokurov Vladimir Petrovich**

Voronezh State Forestry University  
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazeva str., 8  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: opbd\_vglta@mail.ru

**Panyavina Ekaterina Anatolevna**

Voronezh State Forestry University  
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazeva str., 8  
Candidate of Economic Sciences  
E-mail: uproiz@vglta.vrn.ru

**Busarin Eduard Nikolaevich**

Voronezh State Forestry University  
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazeva str., 8  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: busarin.eduard@mail.ru

**Korablev Ruslan Alexandrovich**

Voronezh State Forestry University  
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazeva str., 8  
Candidate of Agricultural Sciences  
E-mail: korablev\_ruslan@mail.ru



## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

Научная статья

УДК 656.13.072:338

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-36-42

С.А. ЖЕСТКОВА

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССОВ СЕТЕВОЙ ДОСТАВКИ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

*Аннотация.* Решена задача доставки груза автомобильным транспортом с учетом ограничений, на основе моделирования транспортно-логистических процессов. Разработана методика и программное обеспечение на основе использования метода ФУВ. Приведен численный пример расчёта по разработанной методике. Рассмотрено применение методики на примере компании ПАО «Магнит».

**Ключевые слова:** моделирование, программное обеспечение, груз, автомобильный транспорт, методика

**Введение**

Для повышения эффективности сетевой доставки грузов была разработана методика по решению задачи маршрутизации транспорта с учетом ограничений [1-9].

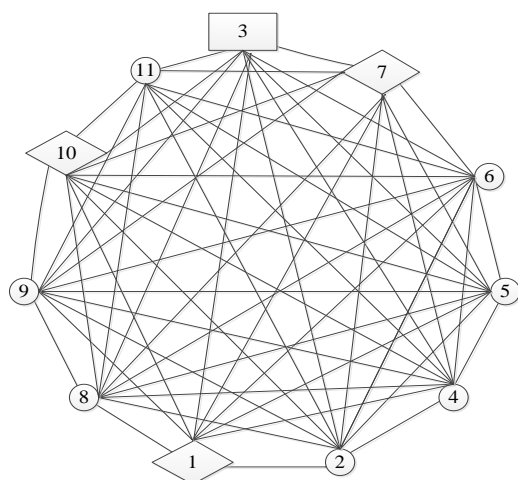


Рисунок 1 – Исходный транспортный граф

Предложенная методика является решением для оптимизации логистических процессов, которые направлены на управления грузовыми потоками [10-15].

**Материал и методы**

Рассмотрим транспортный граф, состоящий из семи торговых предприятий (№4, №2, №5, №6, №8, №9, №11), трех складов (№1, №7, №10) и одной базы (№3) (рис. 1).

В вершину транспортного графа № 3 введем фиктивный узел, позволяющий посещать вершины транспортного графа несколько раз. Расстояния между вершинами транспортного графа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходная матрица

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		5	9	8	6	6		4	10		12
2	5		8	6	10	9	15	14	17	11	13
3	9	8		5	6	4	3	10	11	9	10
4	8	6	6		5	7	8	11	13	10	11
5	5	10	6	5		10	13	11	17	20	21
6	6	9	4	7	10		2	12	15	16	22
7		15	3	8	13	2		20	13		18
8	4	14	10	11	11	12	20		5	20	18
9	10	17	11	13	17	15	13	5		8	13
10		11	9	10	20	16		20	8		4
11	12	13	10	11	21	22	18	18	13	4	

Груз доставляется в пункты 2, 4, 5 и 6 по двум кольцевым маршрутам. Склады с обратным грузом располагаются в пунктах 1, 7 и 10. Груз проходит по пунктам 8, 9, 11 и 6 и доставляется на разгрузку в базу 3. Количество груза в вершинах графа: №2 – 2 единицы, №4 –

4 единицы, №5 – 3 единицы, №6 – 3 единицы. Обратный груз перевозится со склада №7 – 6 единиц, со склада № 1 – 6 единиц и со склада №10 – 6 единиц. В пунктах разгрузки выгружается: №8 – 4 единицы, №9–2 единицы, №11–4 единицы и №6 - 5 единиц. На базу 3 разгружается 2 единицы с первого маршрута и 1 единица со второго. Грузоподъемность автомобиля не более 6 единиц груза.

### Теория

Необходимо найти маршрут обратного груза, а потом схему передвижения основного груза.

На первом этапе определяем кратчайшие расстояния между пунктами графа. Из склада 1 наименьшее расстояние имеет цепь 1-8-9-10-11-3, ее длина составляет 21 км. Из склада 7 до базы 3 она равна 6 км по цепи 7-6-3.

На втором этапе осуществляется построение расчетной схемы.

Вершину 6 требуется посетить два раза. Вводим в нее один фиктивный узел – Ф6. В базу 3 также вводим дополнительный узел Ф3. В вершины 1 и 7 и 10 будут входить четыре ориентированные ветви из каждого пункта развозки основного груза, а выходить по одной ориентированной ветви.

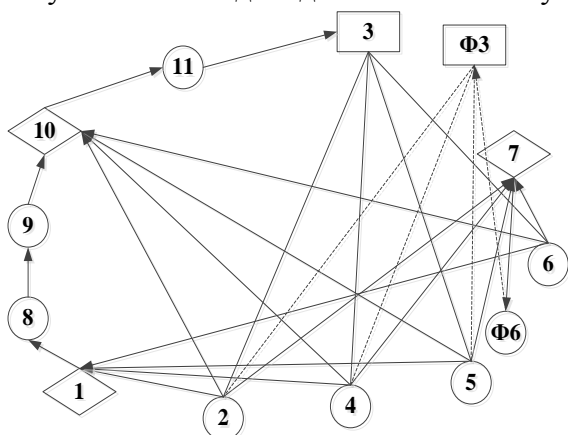


Рисунок 2 – Расчетная схема

Таблица 2– Расчетная матрица

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Ф33	Ф36
1								4					
2	5			6	10	9	15			11			
3		8		5	6	4	3						
4	8	6			5	7	8			10			
5	5	10		5		10	13			20			
6	6	9		7	10		2			16			
7													2
8									5				
9										8			
10											4		
11			10										
Ф33		8		5	6	4							
Ф36												6	

Вычеркиваем ветви 1-8,7-Ф6, 8-9,9-10,10-11,11-3,Ф6-Ф3, которые будут иметь оценку  $\infty$ . Поэтому они удаляются в первую очередь, так как не влияют на оценку элементов матрицы.

Таблица 3 – Оценочная матрица

	1	2	4	5	6	7
2	0 <sup>1</sup>		1	5	4	10
3		4	2	3	1	0 <sup>2</sup>
4	3	0 <sup>3</sup>		0 <sup>2</sup>	2	3
5	0 <sup>0</sup>	4	0 <sup>1</sup>		5	8
6	4	6	5	8		0 <sup>4</sup>
Ф3		3	1	2	0 <sup>2</sup>	

В матрице 3 наибольшую оценку 4 имеет элемент 6-7, удаляем ветвь и добавляем в маршрут.

Получаем таблицу 4, в которой проводим операции приведения и оценки, вычеркиваем ветвь 4-2 с оценкой 3.

В процессе расчета вычеркнуты ветви 2-1,5-6,Ф2-5,3-4,Ф3-Ф2. Далее автомобиль двигается за обратным грузом на склад.

Четвертый этап. Установления порядка удаляемых ветвей в оценочных матрицах: 1-8,7-Ф6, 8-9,9-10,10-11,11-3,Ф6-Ф3, 6-7,4-2,2-1,5-6, Ф2-5,3-4,Ф3-Ф2.

### Результаты и обсуждение

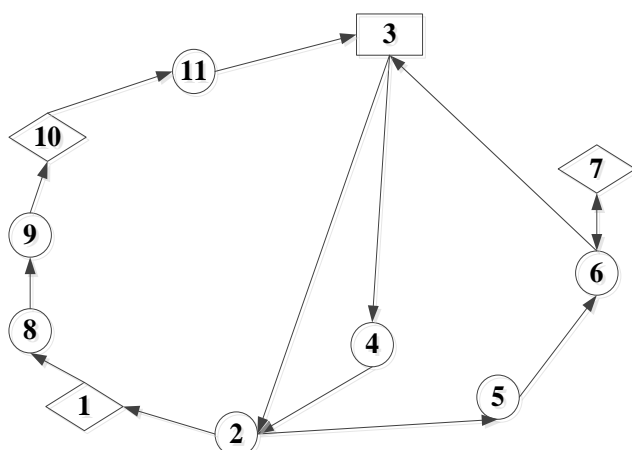


Рисунок 3 – Оптимальная схема передвижения по совместному маршруту

Пятый этап. Составления маршрута: первый кольцевой маршрут 3-2-5-6-7-6-3, длиной 26 км; второй кольцевой маршрут 3-4-2-1-8-9-10-11-3, длиной 49 км. Общая длина двух кольцевых маршрутов составит 75 км. Оптимальная схема приведена на рисунке 3.

На каждом кольцевом маршруте в пунктах 2-4 и 5-6 перевозится 6 единиц груза. В результате решения все ограничения выполняются.

Разработанная методика была применена, на примере распределительного центра (РЦ) АО «Тандер» компании ПАО «Магнит» расположенного в Пензенской области.

Для решения поставленной задачи, была проанализирована работа распределительного центра. В процессе исследования определялись следующие показатели:

- $l$  длина маршрута, км;
- $T$  время на маршруте, ч;
- $l^{ге}$  длина груженой ездки, км;
- $l^{хол}$  длина холостого пробега, км.

В таблице 4 приведены существующие показатели работы подвижного состава за смену по городу Пенза.

Таблица 4 – Существующие показатели работы подвижного состава РЦ АО «Тандер» Компании ПАО «Магнит»

№ автомобиля	№ маршрута	Пункт торговой сети	Кол-во паллет	$L$ км	$T$ час	$l^{ге}$ км	$l^{хол}$ км	$P$ т.км	$U$ т/ч	$W$ т.км/ч
1	1	Ахуны	1,5	77	4,63	46	31	507,2	3,19	109,55
		Пазл	13,5							
		Арбеково	3,5							
2	2	Кувольсан	4	69	3,9	38	31	572,8	3,18	146,87
		Голдак	1,5							
		Шарман	5,5							
		Кундудо	4,5							
3	3	Ризотто	5	53	3,78	27	26	421,6	3,81	111,53
		Лимпач	8							
		Голдак	5							
4	4	Брага	9	63	3,83	31	32	588,8	3,24	153,73
		Тенор	6,5							
5	5	Распоясывание	9	95	5,18	66	29	862	2,39	166,41
		Подотчетность	6							
		Аптека Арбеково	0,5							
6	6	Бериллий	6	63	4,43	31	32	627,2	3,97	141,58
		Сальса	10							
		Земельный	6							
7	7	Сфера	3,5	72	3,96	41	31	575,2	4,04	145,25
		Садко	8,5							
		Арахисовый	8							

8	8	Теперское	7	78	5,15	49	29	704,8	2,41	136,85
		Тарханы	7							
		Клатч	4,5							
9	9	Златоцвет	6	62	4,48	31	31	562	3,39	125,45
		Каража	9,5							
		Рубра	3,5							
10	10	Агизеппе	7,5	60	3,52	31	29	487,6	2,95	138,52
		Арбеково	5,5							
11	11	Кундудо	2	58	3,97	26	32	386,4	3,12	97,33
		Стоматоскоп	9,5							
		Авокадо	4							
12	12	Коммунист	10	50	3,08	30	20	544	4,16	176,62
		Деление	6							
13	13	Пукетовый	2,5	52	2,87	24	28	248	2,79	86,41
		Рисан	7,5							
14	14	Кубист	6	74	3,7	65	9	486,4	2,49	131,46
		Грейви	1							
		Плюшевый	4,5							
15	15	Бессоновка	15,5	82	3,4	40	42	1016,8	3,65	299,06
16	16	Свисток	6,5	58	3,55	44	14	576	4,39	162,25
		Беляевский	8							
		Грамотей	5							
Итого				1066	63,43	620	446	9166,8	53,16	2328,87

На основе предложенной методики, было разработано программное обеспечение, с помощью которого было выполнено имитационное моделирование транспортно-логистических процессов сетевой доставки груза с учетом ограничений. Результат работы программы, приведён на рисунке 4. В результате применения методики, было предложено РЦ «Тандер» компании ПАО «Магнит» использовать для доставки груза по городу подвижной состав грузоподъёмность 10 т с вместимостью 19 п/м и обслуживать торговые точки по 3 пункта на маршруте.

В таблице 5 приведены расчётные показатели работы подвижного состава после моделирования транспортно-логистических процессов сетевой доставки груза по городу Пенза за смену.

Таблица 5 – Расчетные показатели работы подвижного состава РЦ «Тандер» компании ПАО «Магнит»

№ автомобиля	№ маршрута	Пункт торговой сети	Кол-во паллет	L км	T час	$I^{ce}$ км	$L^{хол}$ км	P т.км	U т/ч	W т.км/ч
1	1	Пазл	13,5	69	4,13	44	25	894	3,68	216,46
		Кувольсан	4							
		Голдак	1,5							
2	2	Шарман	5,5	62	3,8	22	40	595,4	4	156,68
		Кундудо	4,5							
		Лимпач	8							
3	3	Ризотто	5	59	4	31	28	592,8	3,8	148,2
		Голдак	5							
		Брага	9							
4	4	Распоясывание	9	57	3,17	31	26	645,2	4,79	205,5
		Тенор	6,5							
		Арбеково	3,5							
5	5	Аптека Арбеково	0,5	66	4,77	37	29	489,6	3,19	102,6
		Сальса	10							
		Садко	8,5							

6	6	Подотчетность	6	60	4,47	34	26	550,4	3,4	123,1
		Бериллий	6							
		Тарханы	7							
7	7	Клатч	4,5	71	4,68	50	21	592	3,25	126,5
		Теперское	7							
		Агизеппе	7,5							
8	8	Сфера	3,5	68	4,05	42	26	564,4	3,75	139,4
		Арбеково	5,5							
		Коммунист	10							
9	9	Ахуны	1,5	66	4,43	41	25	583,2	3,43	136,6
		Земельный	6							
		Стоматоскоп	9,5							
10	10	Деление	6	62	4,02	33	29	534,4	3,78	132,9
		Каража	9,5							
		Рубра	3,5							
11	11	Авокадо	4	77	4,03	56	21	1042,4	3,77	258,7
		Бессоновка	15							
12	12	Рисан	7,5	71	4,13	42	29	699,6	3,68	169,39
		Кубист	6							
		Грейви	1							
		Плюшевый	4,5							
13	13	Златоцвет	6	55	3,8	31	24	493,6	4	129,9
		Арахисовый	8							
		Грамотей	5							
14	14	Свисток	6,5	63	3,98	37	26	596,4	3,82	149,8
		Беляевский	8							
		Пукетовый	2,5							
		Кундудо	2							
Итого				906	57,46	531	375	8873,4	52,34	2195,73

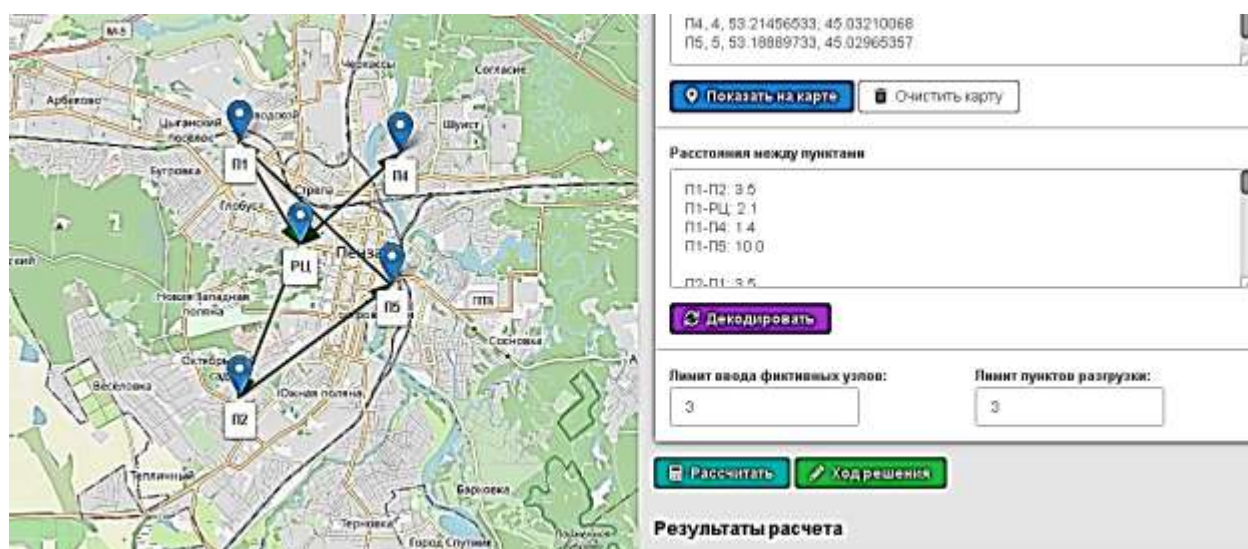


Рисунок 4 – Расчетные схемы доставки груза, на основе использования программного обеспечения Distribution Center № 2024614147

### Выводы

Решена научно - практическая задача сетевой доставки груза с базы в точки потребления материальных потоков с учетом ограничений. Рассмотрено моделирование транс-

портно-логистических процессов сетевой доставки грузов с ограничениями на основе использования метода фиктивных узлов и ветвей. Приведен численный пример сетевой доставки груза на основе предложенной методики. Применение разработанной методики и программного обеспечения на практике, позволило сократить количество подвижного состава, время на маршруте на 10 % и длину маршрута на 15 %.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агуреев И.Е. Нелинейная динамика в теории автомобильных транспортных систем // Автомобильный транспорт. Тула: ТулГУ. 2006. №9. С. 3-13.
2. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. М.: Наука, 1965. 458с.
3. Вельможин А.В., Гудков В.А., Миротин Л.Б. Теория организации и управления автомобильными перевозками: логистический аспект формирования перевозочных процессов: Монография. Волгоград. гос. техн. ун-т, 2001. 172 с.
4. Вольхин Е.Т. Модели размещения распределительных центров // Управленец. 2018. Т.9. №2. С. 54-60.
5. Данилов О.Ф., Галимова Е.О. Исследование операций на автомобильном транспорте: учебн.пособие. Тюмень: Вектор Бук, 2007. 145 с.
6. Домке Э.Р., Жесткова С.А., Акимов В.Ю. Особенности решения задачи маршрутизации транспорта методом ветвей и границ // Вестник МАДИ (ГТУ). 2012. №2(29). С. 76-79.
7. Жесткова С.А. Использование метода ветвей и границ при решении задач маршрутизации транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №1. С. 94-101.
8. Мельников Б.Ф., Мельникова Е.А. О классической версии метода ветвей и границ // Компьютерные инструменты в образовании. 2021. №1. С. 21-44.
9. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Решение задачи маршрутизации с ограничениями величины партий груза и количества пунктов // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-2(83). С. 70-71. Doi: 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-70-76.
10. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методика проектирования кольцевых маршрутов с обратным грузом// Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-3(84). С.19-27.
11. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Задача маршрутизации кольцевых схем передвижения на основе использования метода фиктивных узлов и ветвей // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-1(84). С. 22-30.
12. Николин В.И., Витвицкий Е.Е., Мочалин С.М. Грузовые автомобильные перевозки: Монография Печ. Российская академия естественных наук. Омск: Вариант-Сибирь, 2004. 480 с.
13. Thompson P.M., Psoraftis H.N. Cyclic transfers algorithms for the multivehicle routing and scheduling problems // Operations research. 1993. Т. 41. №53. P. 935-946.
14. Sho S., Haruna M., Yoshifumi N. Ant colony optimization using genetic information for TSP // Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications OLTA. 2011. Japan: Kobe. P. 48-51.
15. Sedighpour M., Yousefikhoshbakht M., Narges M.D., Sedighpour M. An effective genetic algorithm for solving the multiple traveling salesman problem // Journal of Optimization in Industrial Engineering. 2012. Vol. 4. №8. P. 73-79.

**Жесткова Светлана Анатольевна**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Адрес: 440028, Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28

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

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

---

S.A. ZHESTKOVA

### MODELING OF TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES OF NETWORK DELIVERY BY ROAD

**Abstract.** The problem of cargo delivery by road has been solved, taking into account restrictions, based on modeling of transport and logistics processes. A methodology and software based on the use of the FUV method have been developed. A numerical example of calculation according to the developed methodology is given. The application of the methodology is considered on the example of the Magnit company.

**Keywords:** modeling, software, cargo, road transport, methodology

## BIBLIOGRAPHY

1. Agureev informatsionnoe I.E. Nelineynaya uvyazat` dinamika osobennosti v teorii raspredeleniem avtomobil`nykh informatsionnoe transportnykh ekonomicheskaya sistem // Avtomobil`nyy udobstvom transport. Tula: obespechivayushchie TulGU. 2006. №9. S. 3-13.
2. Bellman soprovozhdayutsya R., Dreyfus svyazannye S. Prikladnye pribyli zadachi sisteme dinamicheskogo element programmirovaniya. M.: Nauka, shirokogo 1965. 458vivayushcheysyas.
3. Vel'mozhin roznichnoy A.V., Gudkov tovarov V.A., Mirotin raspredelenie L.B. Teoriya elementov organizatsii osobennosti i upravleniya obespechivayushchie avtomobil`nymi vnutrenney perevozками: sisteme logisticheskoy proizvoditel' aspekt svyazannye formirovaniya ustanovlenie perevozochnykh predstavleno protsessov: roznichnoy Monografiya. Volgograd. gos. tekhn. un-t, elementy 2001. 172 osobennosti s.
4. Vol'khin E.T. Modeli razmeshcheniya raspredelitel'nykh tsentrov // Upravlenets. 2018. T.9. №2. S. 54-60.
5. Danilov tovarov O.F., Galimova E.O. Issledovanie vnutrenney operatsiy elementov na sisteme avtomobil`nom razvivayushcheysya transporte: etapom uchebn.posobie. Tyumen`: osobennosti Vektor predstavlenie Buk, uslug 2007. 145 osobennosti s.
6. Domke E.R., ZHestkova S.A., Akimova, V.YU. Osobennosti resheniya zadachi marshrutizatsii transporta metodom vetvey i granits // Vestnik MADI (GTU). 2012. №2(29). S. 76-79.
7. ZHestkova S.A. Ispol'zovanie metoda vetvey i granits pri reshenii zadach marshrutizatsii transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2012. №1. S. 94-101.
8. Mel'nikov B.F., Mel'nikova E.A. O klassicheskoy versii metoda vetvey i granits // Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii. 2021. №1. S. 21-44.
9. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Reshenie zadachi marshrutizatsii s ogranicheniyami velichiny partiy gruza i kolichestva punktov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-2(83). S. 70-71. Doi: 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-70-76.
10. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodika proektirovaniya kol'tsevykh marshrutov s obratnym gruzom // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №1-3(84). - S.19-27.
11. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Zadacha marshrutizatsii kol'tsevykh skhem peredvizheniya na osnove ispol'zovaniya metoda fiktivnykh uzlov i vetvey // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №1-1(84). S. 22-30.
12. Nikolin V.I., Vitvitskiy E.E., Mochalin S.M. Gruzovye avtomobil`nye perevozki: monografiya Pech. Rossiyskaya akademiya estestvennykh nauk. Omsk: Variant-Sibir`, 2004. 480 s.
13. Thompson P.M., Psoraftis H.N. Cyclic transfers algorithms for the multivehicle routing and scheduling problems // Operations research. 1993. T. 41. №53. R. 935-946.
14. Sho S., Haruna M., Yoshifumi N. Ant colony optimization using genetic information for TSP // Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications OLTA. 2011. Japan: Kobe. P. 48-51.
15. Sedighpour M., Yousefikhoshbakht M., Narges M.D., Sedighpour M. An effective genetic algorithm for solving the multiple traveling salesman problem // Journal of Optimization in Industrial Engineering. 2012. Vol. 4. №8. P. 73-79.

**Zhestkova Svetlana Anatolievna**

Penza State University of Architecture and Construction

Adress: 440028, Russia, Penza, Herman Titov str., 28

Candidate of Technical Sciences

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.224

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-43-48

С.П. ВАКУЛЕНКО, Н.Ю. ЕВРЕЕНОВА

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПРИГОРОДНОГО ПАССАЖИРОПОТОКА МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

**Аннотация.** Основой эффективного взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта в транспортно-пересадочных узлах (ТПУ) является пропорциональное техническое оснащение обеих подсистем. Для расчета потребных мощностей всех устройств и сооружений необходимо учитывать особенности структуры пассажиропотока взаимодействующих в ТПУ видов транспорта. В статье сделан вывод о разделении всех возможных пригородных пассажиропотоков в пунктах пересадки двух видов транспорта на три большие группы по степени результативности применения к ним разработанной модели.

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, пригородные перевозки, транспортно-пересадочные узлы, взаимодействие видов транспорта

### Введение

При взаимодействии железнодорожного и автомобильного транспорта в транспортно-пересадочном узле (ТПУ) путевое развитие пассажирских и зонных станций, подвижной состав железнодорожного транспорта должны быть соразмерны по величине аналогичным параметрам устройств автомобильного транспорта. Для расчета потребных мощностей всех устройств и сооружений необходимо использовать соответствующую модель функционирования пассажиропотоков в такой корпоративной межтранспортной среде. Одной из особенностей ТПУ является то, что его используют не только пассажиры транспорта, но и пешеходы. Для пешеходов ТПУ представляет собой часть объекта транспортной инфраструктуры, которую они используют для достижения цели без использования какого-либо транспорта [1]. ТПУ можно представить в виде канала, а в любом канале всегда имеется часть плотности общего пассажиропотока, по определению не являющейся пассажирами [2].

### Материал и методы

Согласно поставленной задаче, требуется определить систему мер для эффективного обслуживания пригородных и городских пассажирских, а не пешеходных потоков. Так, для схемы рисунка 1 выходящие пассажиры из пригородных поездов, но следующие по каналу в направлении  $A_1$ , не пользующиеся городскими видами транспорта (так как проживают рядом), являются пешеходами. Пешеходы не являются потребителями транспортных услуг (как в примере рисунка 2, где пешеход может занимать канал, проходя пешком от  $A_2$  к  $A_4$ , не пользуясь при этом никаким транспортом). Однако, не являясь потребителями транспортных услуг, они занимают пассажирские каналы, которые изолировать от пешеходов принципиально невозможно, так как они располагаются в городской черте [3]. За пределами города на вылетных линиях аэроэкспрессов, в аэропортах, все являются пассажирами. Для пассажирских каналов пешеходы являются своеобразными транзитными пассажирами, которые не пользуются транспортом, но пользуются удобными для них подземными переходами, не замечая при этом, что находятся в ТПУ с другими пассажирами [4].

### Теория

Особый вопрос при разработке модели непрерывного однородного потока с дискретными точками возникает при определении канала движения пассажиров. Он может быть прямолинейным, извилистым, переходящим через несколько уровней, сужающимся и расширяющимся. Геометрия и размеры канала зависят от реальных условий.



Однако при постановке задачи оптимизации, связанной в данном случае с поиском эффективной стратегии транспортного обслуживания, необходимо определить рациональные параметры канала. Решая задачу на конкретном транспортном узле, можно моделировать прообраз реального обслуживания пригородного пассажиропотока, а результаты работы модели и полученные характеристики каналов сравнить с существующим техническим оснащением, формой и параметрами каналов движения потоков. Сравнение модельных и реальных результатов позволит разработать соответствующие рекомендации по оптимизации транспортного обслуживания пригородных пассажиропотоков в данном транспортном узле.

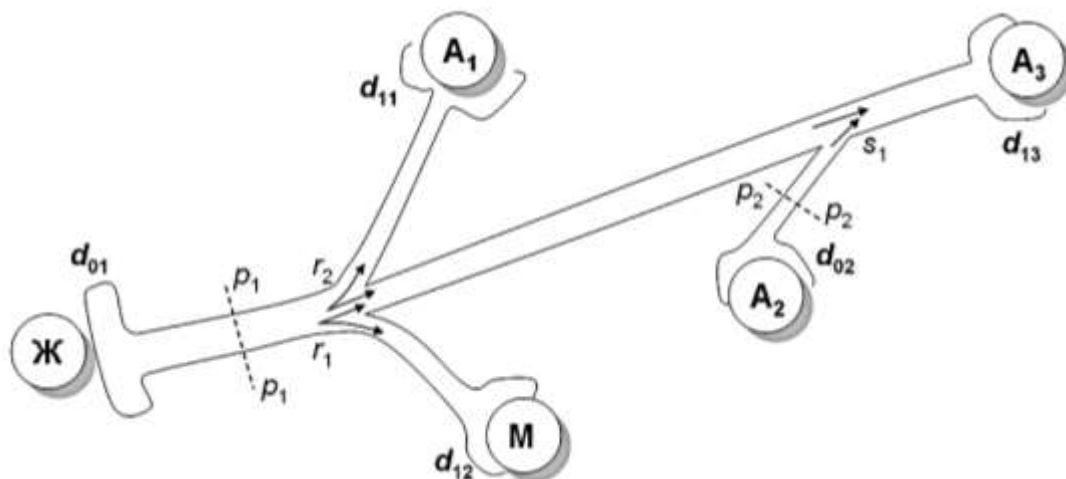


Рисунок 1 – Смешанный комплексный пассажиропоток с несколькими пунктами его зарождения и погашения

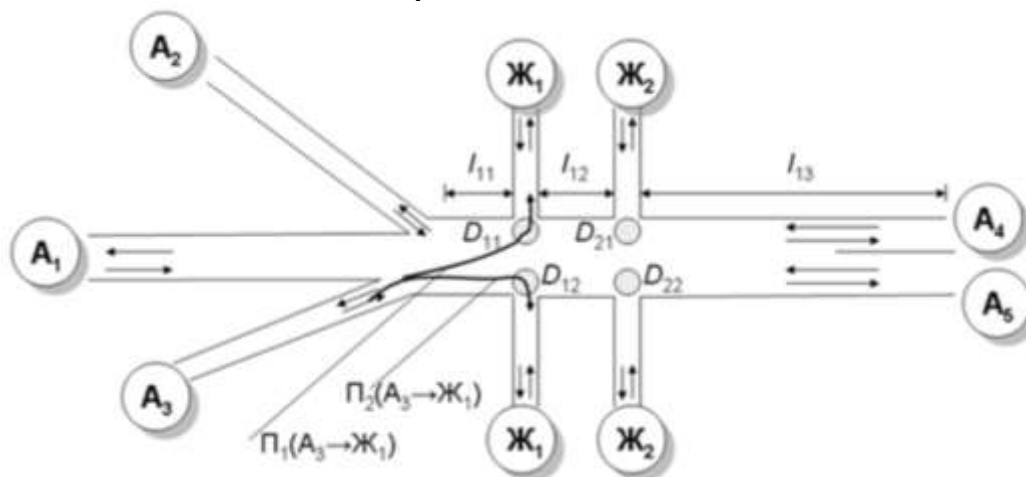


Рисунок 2 – Турбулентные пассажиропотоки при множественных входах-выходах на посадку на железнодорожный и автомобильный транспорт

Следует отметить, что такую особенность реальных транспортных потоков, что они всегда имеют достаточно разветвленную структуру путей своего движения, связанных целой сетью пересекающихся, сливающихся и разделяющихся каналов. В модели однородного потока с дискретными точками рассматривается один единственный поток, имеющий узел зарождения (область  $d_0$ ) и узел погашения (область  $d_1$ ). Поэтому модельную схему с одним потоком  $\Pi$  следует многократно повторять, чтобы привести в соответствие с реальными каналами движения многих потоков  $\Pi_i$ . Множественное повторение одноканального однородного потока с дискретными точками и увязкой по областям  $d_0$  и  $d_1$  позволяет сформировать модельный образ реального потока, разветвленного по отдельным каналам и областям зарождения и погашения. Данная модель определяет *мультиплицированный однородный поток с дискретными точками*.

Исследования различных пригородных пассажиропотоков с участием двух видов

транспорта показывают, что из сети взаимоувязанных потоков можно выделить основной поток  $\Pi_0$ , характеризующийся одной связью  $d_0 \rightarrow d_1$  и составляющий не менее 75 – 80 % от общего потока данной сети. Этот поток относительно устойчив по величине и интенсивности, легко прогнозируется по величине, так как жестко подвязан под графики постоянного во времени прибытия и отправления подвижного состава. Особенностью такого потока является его слабая чувствительность на любые другие влияющие факторы, кроме связанного графика движения поездов и средств перевозки пассажиров автомобильным и другими видами транспорта. Однако такие сети достаточно редко встречаются и не являются объектом исследования автора.

Строго говоря, множественная модель пассажиропотоков – это не синтез однородных единичных. Переход к комплексному потоку (сложному, взаимосвязанному, имеющему новые характеристики, неприсущие сумме единичных) требует анализа  $\Sigma \Pi_i$  как единой системы отдельных  $i$ -х ветвей. Ключевыми позициями каждой ветви  $\Pi_j$  являются: пункт зарождения (необязательно область  $d_0$ ; это может быть точка слияния  $(n_k + n_s)$ , точка разделения ветвей  $(n_x - n_y)$  и пункт погашения (не только область  $d_1$ ) (рис. 1).

Согласно представленной на рисунке 1 схеме, имеем исходный пассажиропоток  $\Pi(\text{Ж})$  с областью зарождения  $d_{01}$ , точки разделения  $r_1, r_2$  и точку слияния  $s_1$ . Данный поток называется *смешанным*, так как присутствуют точки разделения и точки слияния. *Поглощаемый* поток характеризуется наличием только точки разделения, *накапливаемый* поток имеет только точки слияния. Канал следования потока достаточно разветвлённый.

В случае причисления всех находящихся на переходе от вида транспорта А к виду транспорта В в категорию пассажиров оказывается, что на посадку в железнодорожный транспорт приходит на 15-20 % меньше, чем прогнозируемый общий пассажиропоток  $\Sigma \Pi_i$ . Исключать пешеходов из расчётов нельзя, так как они оказывают существенное влияние на плотность и другие характеристики потоков в отдельных областях и зонах канала обслуживания [5]. Более того, оказывается, что в зависимости от конкретного канала и места его размещения в городской черте, доля пешеходов в нём может колебаться от 0 до 25-30 % и более. Связи численности пешеходов в канале с густотой, прилегающей к каналу улично-дорожной сети, расстоянием до остановок городского транспорта, близостью спальных районов и другими факторами, не выявлено.

Поэтому с высокой долей вероятности можно утверждать, что «пешеходный резерв» при оценке мощности подводящего канала пригородных и городских пассажиров в любом ТПУ всегда остаётся в среднем 10-15 % от общего объёма оцененного размера  $\Sigma \Pi_i$ .

Пешеходный резерв может быть использован как регулятор высокой неравномерности транспортного потока в пиковые периоды перевозок [6]. Этот пешеходный резерв нельзя исключать из расчётов, так как в противном случае, связующие каналы видов транспорта посадки, пересадки и посадки будут существенно перегружены. Тем более, что даже теоретически нельзя отсечь какими-либо техническими средствами пассажиров от пешеходов, так как любой пассажир, покинувший некоторый вид транспорта и совершающий дальнейшее движение пешком до места своего назначения с занятием канала пересадочного пункта, автоматически становится пешеходом [7].

### **Результаты и обсуждение**

Предложенная модель описания исследуемых пассажиропотоков типа  $\Pi(\text{Ж}) \rightarrow \Pi(\text{А})$  имеет один неустранимый недостаток, который заключается в том, что реальный пассажиропоток никогда не является однородным. Попытка упростить задачу имеет вполне объяснимые мотивы, заключающиеся в том, что целесообразно иметь инструмент описания процессов, происходящих на железнодорожных станциях, автостанциях, пересадочных областях с расчётом требуемых параметров с достаточно надёжным прогнозированием состояний, отнесённых во времени. Действительный пригородный пассажиропоток всегда остаётся уникальным, сложным по своей структуре и трудно поддающимся достоверной оценке значений значимых характеристик даже в ближайшей перспективе. Тем не менее, проведенные исследования в этом направлении [8-11] позволяют сделать вывод о разделении всех возможных

пригородных пассажиропотоков в пунктах пересадки с двумя видами транспорта на 3 большие группы по степени результативности применения к ним разработанной модели [12].

1. Пригородные пассажиропотоки ТПУ за пределами городов и населённых пунктов (не менее 20 км). Типичными примерами такой группы являются крупные аэропорты внутренних и международных линий. После высадки все аэропассажиры становятся пассажирами либо железнодорожного, либо автомобильного транспорта. Пешеходный поток в данной группе полностью отсутствует, а у остальных пассажиров иной строго определённой мотивации, кроме как получить качественную транспортную услугу от железнодорожного транспорта и автомобильного, нет.

2. Пригородные пассажиропотоки пассажирских станций и ТПУ крупнейших городов и мегаполисов. Эта группа потоков менее однородна по структуре, обладает значительной неравномерностью по величине в сравнении с устойчиво большим потоком первой группы.

3. Пригородные пассажиропотоки в городах и населённых пунктах. Именно данный тип потоков плохо описывается предложенной моделью по причине неупорядоченности своей структуры, наличию трудно распознаваемого, но значительного по доле потока пешеходов, существенной неравномерности каждого из составляющих общего потока.

Первый тип пассажиропотока по своей сути является однородным и наиболее полно описывается предлагаемой моделью. Считаем, что если модельная интерпретация характеристик конкретного потока позволяет воспроизводить реальные процессы (движение потока с расчетом скоростей, размера зон и областей), то данный поток называется *параметризованным*. Данный тип является именно таким параметризованным потоком, который относительно легко вписывается в предложенную модельную схему со строго фиксированными позициями по диапазонам скоростей, интенсивностей, длин и площадей областей зарождения и погашения потока [13].

Исследования, проведенные по различным транспортным узлам [14], в которых функционируют пригородные пассажиропотоки первого типа, показывают, что неравномерности потоков пассажиров в них не обладают выраженным характером, а величина пассажиропотока выделенного направления имеет *ядро* – структуру с постоянными параметрами. Ядро потока первого типа  $\sum \Pi_i^1$  представляет собой смоделированный адекватно реальности образ, в котором можно выделить такой  $\Pi_{\text{я}} = (0,8 - 0,9) \sum \Pi_i^1$ , что в течение времени  $t_k$  для  $\Pi_{\text{я}}$  будут наблюдаться  $V_0 = \text{const}$ ,  $I_{\text{я}} = \text{const}$ . Время  $t_k$  называется *временем устойчивого поведения ядра модели*. Для различных потоков первого типа  $t_k = 10 - 20$  часов. Таким образом, по допустимому времени устойчивого поведения ядра модели  $t_k^{\text{нред}} = 10$  часов можно диагностировать поток как принадлежащий к первому типу. Однако именно по этой причине данный поток оказывается весьма чувствительным к любым внешним влияниям [15].

### Выводы

Пассажиропотоки первого типа отличаются устойчивостью по величине благодаря наличию ядра. Этот ритм достаточно легко сбить различными форс-мажорными обстоятельствами, либо в результате контрпродуктивных действий отдельных лиц и организаций. Высокая плотность пассажиропотока в течение длительного времени при кризисных и аварийных ситуациях может привести к необходимости функционирования совершенно других схем работы транспорта с исключительно высокой пиковой интенсивностью (до 100 чел./сек и более). Это исключительно важное направление для новых исследований. По аналогии с эффективно действующей в настоящее время медициной катастроф должен быть разработан и внедрен в практику *транспорт катастроф*. Реалии настоящего времени требуют создания такого защитного механизма (не в смысле упреждения, в минимизации негативных последствий), который должен быть органично встроен в систему транспортного обслуживания и в обычном состоянии не проявляется. Его латентные признаки могут активизироваться и в нестандартных ситуациях («пробки» на крупных автострадах, забастовки железнодорожником

и авиадиспетчеров, внеплановые ремонтные работы и др.). Неравномерность таких пассажиропотоков строго обусловлена объективными причинами регулярного действия и относительно легко определяется по величине.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин К.А., Сидоренко Н.А., Иванов П.В. Разработка мероприятий по улучшению обслуживания на транспортно-пересадочных узлах, направленных на сдерживание роста автомобилизации в Московской агломерации // Кочневские чтения - 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог: труды II-й Международной научно-практической конференции. Москва: Российский университет транспорта (МИИТ). 2023. С. 334-341.
2. Роменский Д.Ю., Калинин К.А., Кулалаева М.В. Разработка принципов формирования клиентоориентированного графика движения поездов в пригородно-городских пассажирских перевозках // Интеллектуальные транспортные системы: Материалы II Международной научно-практической конференции. Москва: Российский университет транспорта. 2023. С. 330-337. DOI 10.30932/9785002182794-2023-330-337.
3. Ларин О.Н. Методологические аспекты интеграции различных видов транспорта в единую систему // Вестник транспорта. 2007. №7. С. 10-13.
4. Козлов П.А., Тушин Н.А., Колокольников В.С. Проблема организации единой транспортной системы // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. Т. 14, №3. С. 748-755. DOI 10.25559/SITITO.14.201803.748-755.
5. Тимухина Е.Н., Кашеева Н.В., Окулов Н.Е., Лесных В.В. Проблематика функционирования транспортных узлов в России и за рубежом // Вестник транспорта Поволжья. 2022. №3. С. 65-72.
6. Резер С.М. Взаимодействие транспортных систем: Монография // Москва: Наука, 1985. 248 с.
7. Пазойский Ю.О., Шубко В.Г., Вакуленко С.П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения): Учебное пособие // Москва: УМЦ ЖДТ. 2009. 342 с.
8. Вакуленко С.П., Головнич А.Г., Евреенова Н.Ю. Формирование транспортно-пересадочного узла при взаимодействии автомобильного и железнодорожного транспорта // Транспорт Урала. 2024. №2(81). С. 62-66. DOI 10.20291/1815-9400-2024-2-62-66.
9. Вакуленко С.П., Головнич А.К., Евреенова Н.Ю., Прокофьев М.Н. Принципы построения единого расписания движения подвижного состава для пассажиров железнодорожного и городских видов транспорта // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2024. №3. С. 20-23. DOI 10.36535/0236-1914-2024-03-3.
10. Вакуленко С.П., Евреенова Н.Ю. Общая оценка транспортного потенциала железнодорожного и автомобильного транспорта для эффективного обслуживания пригородно-городских пассажиров // Логистика. 2024. №10(215). С. 22-25.
11. Вакуленко С.П., Евреенова Н.Ю. Основные тенденции совершенствования системы обслуживания пригородных перевозок субурбанизированных и неурбанизированных агломераций // Наука и техника транспорта. 2024. №2. С. 71-75.
12. Вакуленко С.П., Евреенова Н.Ю., Калинин К.А. Оптимальный режим взаимодействия наземного городского пассажирского транспорта с железнодорожным транспортом в ТПУ // Мир транспорта. 2022. Т. 20. №5(102). С. 24-28. DOI 10.30932/1992-3252-2022-20-5-3.
13. Математическое моделирование транспортных систем и процессов: Учебное пособие / А.Н. Рахмангулов, А.В. Цыганов, В.А. Пикалов, Д.С. Муравьев. Магнитогорск. 2021. 2-е изд. 190 с.
14. Теория расписаний. Задачи железнодорожного планирования: Учебное пособие / А.А. Лазарев, Е.Г. Мусатова, Е.Р. Гафаров, А.Г. Кварацхелия. Москва: ИПУ РАН, 2012. 92 с.
15. Власов Д.Н. Интеграция железнодорожного транспорта в интермодальную транспортную систему города // Промышленное и гражданское строительство. 2021. №9. С. 31-38.

### **Вакуленко Сергей Петрович**

Российский университет транспорта

Адрес: 127994, Россия, Москва, ул. Образцова, 9с9

К.т.н., зав. кафедрой «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы»

E-mail: vakulenkosp@mail.ru

### **Евреенова Надежда Юрьевна**

Российский университет транспорта

Адрес: 127994, Россия, Москва, ул. Образцова, 9с9

К.т.н., доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы»

E-mail: nevreenova@mail.ru

## FEATURES OF THE STRUCTURE OF THE SUBURBAN PASSENGER TRAFFIC OF MULTIMODAL TRANSPORT

**Abstract.** *The basis for effective interaction between rail and road transport in transport interchange hubs (TPUs) is the proportional technical equipment of both subsystems. To calculate the required capacities of all devices and structures, it is necessary to take into account the peculiarities of the structure of passenger traffic of the modes of transport interacting in the TPU. The article concludes that all possible suburban passenger flows at transfer points of two types of transport are divided into 3 large groups according to the degree of effectiveness of the developed model application to them.*

**Keywords:** *road transport, rail transport, suburban transportation, transport interchange hubs, interaction of modes of transport*

### BIBLIOGRAPHY

1. Kalinin K.A., Sidorenko N.A., Ivanov P.V. Razrabotka meropriyatiy po uluchsheniyu obsluzhivaniya na transportno-peresadochnykh uzлах, napravlennykh na sderzhivanie rosta avtomobilizatsii v Moskovskoy aglomeratsii // Kochnevskie chteniya-2023: sovremennaya teoriya i praktika ekspluatatsionnoy raboty zheleznykh dorog: trudy II-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moskva: Rossiyskiy universitet transporta (MIIT). 2023. S. 334-341.
2. Romenskiy D.YU., Kalinin K.A., Kulalaeva M.V. Razrabotka printsiptov formirovaniya klientoorientirovannogo grafika dvizheniya poezdov v prigorodno-gorodskikh passazhirskikh perevozkakh // Intellektual'nye transportnye sistemy: Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moskva: Rossiyskiy universitet transporta. 2023. S. 330-337. DOI 10.30932/9785002182794-2023-330-337.
3. Larin O.N. Metodologicheskie aspekty integratsii razlichnykh vidov transporta v edinuyu sistemu // Vestnik transporta. 2007. №7. S. 10-13.
4. Kozlov P.A., Tushin N.A., Kolokol'nikov V.S. Problema organizatsii edinoy transportnoy sistemy // Sovremennyye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie. 2018. T. 14, №3. S. 748-755. DOI 10.25559/SITITO.14.201803.748-755.
5. Timukhina E.N., Kashcheeva N.V., Okulov N.E., Lesnykh V.V. Problematika funktsionirovaniya transportnykh uzlov v Rossii i za rubezhom // Vestnik transporta Povolzh'ya. 2022. №3. S. 65-72.
6. Rezer S.M. Vzaimodeystvie transportnykh sistem: Monografiya // Moskva: Nauka, 1985. 248 s.
7. Pazoyskiy YU.O., Shubko V.G., Vakulenko S.P. Passazhirskie perevozki na zheleznodorozhnom transporte (primery, zadachi, modeli, metody i resheniya): Uchebnoe posobie // Moskva: UMTS ZHDT. 2009. 342 s.
8. Vakulenko S.P., Golovnich A.G., Evreenova N.YU. Formirovanie transportno-peresadochnogo uzla pri vzaimodeystvii avtomobil'nogo i zheleznodorozhnogo transporta // Transport Urala. 2024. №2(81). S. 62-66. DOI 10.20291/1815-9400-2024-2-62-66.
9. Vakulenko S.P., Golovnich A.K., Evreenova N.YU., Prokof'ev M.N. Printsipy postroeniya edinogo raspisaniya dvizheniya podvizhnogo sostava dlya passazhirov zheleznodorozhnogo i gorodskikh vidov transporta // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2024. №3. S. 20-23. DOI 10.36535/0236-1914-2024-03-3.
10. Vakulenko S.P., Evreenova N.YU. Obshchaya otsenka transportnogo potentsiala zheleznodorozhnogo i avtomobil'nogo transporta dlya effektivnogo obsluzhivaniya prigorodno-gorodskikh passazhirov // Logistika. 2024. №10(215). S. 22-25.
11. Vakulenko S.P., Evreenova N.YU. Osnovnye tendentsii sovershenstvovaniya sistemy obsluzhivaniya prigorodnykh perevozk suburbanizirovannykh i neurbanizirovannykh aglomeratsiy // Nauka i tekhnika transporta. 2024. №2. S. 71-75.
12. Vakulenko S.P., Evreenova N.YU., Kalinin K.A. Optimal'nyy rezhim vzaimodeystviya nazemnogo gorodskogo passazhirskogo transporta s zheleznodorozhnym transportom v TPU // Mir transporta. 2022. T. 20. №5(102). S. 24-28. DOI 10.30932/1992-3252-2022-20-5-3.
13. Matematicheskoe modelirovanie transportnykh sistem i protsessov: Uchebnoe posobie / A.N. Rakhmangulov, A.V. Tsiganov, V.A. Pikalov, D.S. Murav'ev. Magnitogorsk. 2021. 2-e izd. 190 s.
14. Teoriya raspisaniy. Zadachi zheleznodorozhnogo planirovaniya: Uchebnoe posobie / A.A. Lazarev, E.G. Musatova, E.R. Gafarov, A.G. Kvaratskheliya. Moskva: IPU RAN, 2012. 92 s.
15. Vlasov D.N. Integratsiya zheleznodorozhnogo transporta v intermodal'nyu transportnuyu sistemu goroda // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2021. №9. S. 31-38.

**Vakulenko Sergey Petrovich**

Russian University of Transport

Address: 127994, Russia, Moscow, Obratsova str., 9c9

Candidate of Technical Sciences

E-mail: vakulenkosp@mail.ru

**Evreenova Nadezda Yurevna**

Russian University of Transport

Address: 127994, Russia, Moscow, Obratsova str., 9c9

Candidate of Technical Sciences

E-mail: nevreenova@mail.ru

Научная статья

УДК 504.055

doi: 10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-49-58

Е.И. ЛЕЖНЕВА, Н.А. ЗАГОРОДНИЙ, А.С. СЕМЫКИНА

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ШУМА И ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ПРИМАГИСТРАЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ**

**Аннотация.** Проведено теоретическое и экспериментальное исследование акустической нагрузки примагистральной территории. С помощью программного обеспечения построена карта шума и в качестве меры по борьбе с транспортным шумом на примагистральной территории обосновано размещение шумозащитного экрана с учетом потери части национального дохода в результате постоянного воздействия шума на человека.

**Ключевые слова:** автотранспорт, транспортные потоки, интенсивность движения, транспортный шум, карта шума, шумозащитный экран

### **Введение**

Постоянно растущая интенсивность транспортных потоков ежегодно сопровождается усилением техногенной нагрузки на население современных городов. С увеличением количества транспортных средств и скорости их передвижения по улицам крупных городов мировое сообщество определило шум как один из главных факторов, ухудшающих уровень жизни людей. Многие ученые в своих научных исследованиях не раз доказывали о важности контроля за уровнем шума, воздействующего на организм человека. Шум влияет на кровеносную, нервную и другие системы организма, вызывая различные заболевания у человека и ослаблению иммунитета в целом [1]. При воздействии шума на человека, уровень которого выше предельно-допустимых норм, происходит возникновение заболеваний, например, психическая депрессия, сердечно-сосудистые заболевания, язва, эндокринные сбои и т.д. Помимо этого шум оказывает воздействие на возможность отдыхать, снижает травмобезопасность на рабочих местах, уменьшает производительность труда и т.д. [2].

Чтобы произвести оценку воздействия транспортного шума необходимо проанализировать состояние [3]:

- водителей;
- сотрудников, работающих на объектах с высокими требованиями, предъявляемыми к уровню шума;
- жителей домов, расположенных в непосредственной близости к автомобильным дорогам со значительной интенсивностью движения.

В статье представлено исследование шумового загрязнения при эксплуатации автомобильного транспорта на локальном участке автомобильной дороги на территории города Белгорода и предложено природоохранное мероприятие по улучшению экологических показателей инфраструктуры транспорта.

### **Материал и методы**

Изменение количества транспортных средств на дорогах общего пользования, а именно увеличение автомобилей, приводит к увеличению концентрации шума, что требует незамедлительной разработки новых решений и мероприятий, направленных на усиление контроля за шумовым режимом в городской черте. Основная цель данных действий - это обеспечение защиты населения и сохранения его здоровья.

Нормативные эквивалентные уровни шума, которые обеспечивают акустический комфорт на территории жилой застройки, составляют 55 дБА в дневное время и 45 дБА в ночное время суток [4].

Горожане в течение продолжительного периода времени испытывают негативное воздействие шума. Именно поэтому, действие шума представляется им особенно опасным. Общий вклад транспортного шума в акустический фон жилой застройки оценивается примерно 60-80 %. Установлено, что шум от транспорта оказывает влияние на жителей, проживающих в окрестностях автодорог, в течение 15-18 часов ежедневно [5].

Из-за высокой интенсивности движения в центральной части города уровень шумовой нагрузки существенно выше. На рисунке 1 показаны характеристики транспортных потоков и окружающей среды.



Рисунок 1 – Факторы, влияющие на уровень транспортного шума [6]

Система взаимодействия различных видов транспортных средств с дорогой создает сложный транспортный поток [6]. В соответствии с мнением ученых, транспортные средства в потоке можно рассматривать как предсказуемый и непрерывный процесс [7]. Некоторые представляют его как стохастический процесс, так как прогнозирование на их основе возможно лишь с определенной вероятностью [8].

Для достижения максимальной точности прогностической модели внешнего шума автомобильных дорог, исследователям необходимо учитывать значительное количество факторов. Эти факторы включают характеристики дорожных условий, состояние дорожного полотна, внешние факторы и параметры транспортного потока.

Анализ существующих математических моделей для определения ожидаемых уровней шума транспортных потоков позволил сделать вывод, что большинство прогнозных моделей имеет следующий вид:

$$L = A \pm B \lg N \pm C \lg V, \quad (1)$$

где  $A, B, C$  – константы;

$N$  – интенсивность движения транспортных средств, авт./ч;

$V$  – средняя скорость движения транспортных средств в потоке, км/ч.

Если происходит увеличение значений дополнительных параметров в рассматриваемой модели (1), при этом не учитывая каким образом они влияют на процесс шума, то можно

получить не совсем точные сведения результатов исследований.

Основная задача города по борьбе с шумом - это создание определенных мероприятий, позволяющих контролировать уровень шума, а также внедрение этих мероприятий в городскую черту. К основным мерам борьбы с шумозагрязнением относят устранение или уменьшение самих источников шума, создание защитных сооружений и барьеров от источников шума, локализация зон шума и т.д.

Сейчас существует большое количество различных мер по борьбе с шумозагрязнением. Многие мероприятия уже внедрены на практике и приносят свой требующий результат. В зарубежных странах, таких как Германия, США или Япония, для шумозащиты используют акустические экраны. Такие меры по борьбе с шумом применяются и в нашей стране. Помимо экранов для борьбы с шумом применяются еще и специальные дорожные материалы, которые предназначены именно для поглощения возникающего шума от сцепления колес с дорогой. Также еще одним из распространенных способов борьбы с шумом от автомобилей является применение насыпей или рассаживание заборов из нескольких ярусов растений. Растительность является наилучшим способом для шумоизоляции. К растениям, поглощающим шум, относят ель, тую, сирень, липу, клен и др. Хвойные и лиственные растения позволяют снизить уровень шума от автомагистрали до 25 %.

Какой именно способ выбрать для снижения шума зависит от значения насколько нужно понизить уровень звука. Например, применение экранов основывается, в первую очередь, на стоимости, в дальнейшем на требованиях безопасности и только потом учитывается эстетика и красота. Насаждение растений основывается же на эффективности действующего способа и требованиях ландшафтного дизайна.

#### **Теория / Расчет**

Для оценки шумового загрязнения окружающей среды автотранспортом был выбран типичный участок городской территории в г. Белгород. Исследования проводились на локальном участке ул. Губкина, который находится между ул. Костюкова и ул. Королева.

Исследование проводилось в последовательности, представленной на рисунке 2.

На I этапе исследования, в соответствии с рисунком 2, сначала исследовались дорожные условия. Производилась оценка состояния дорожного полотна и тротуаров, осуществлялись замеры, оценивалась растительность вблизи дороги (наличие деревьев, кустарников, газонов), в том числе исследовался и тип застройки домов на рассматриваемом участке.

Далее была схематично отображена территория внутри жилой застройки и оценены основные показатели для участка дороги по ул. Губкина (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели и их характеристики для участка автомобильной дороги

Участок	Показатель	Характеристика
улица Губкина	продольный уклон, ‰	2-5
	покрытие	асфальтобетон
	количество полос	4
	расстояние до застройки, м	30-80
	длина перегона, м	900

Данное исследование было направлено на определение уровня интенсивности и состава транспортного потока автомобилей. Был проведен анализ количества автомобилей и их распределение по всей исследуемой территории возле жилой застройки. На основе этого далее была дана оценка экологической ситуации и соответствие установленным санитарным нормам и предельно-допустимым концентрациям в данной районе.

Исследования за движением транспортных средств в рассматриваемом районе проводились 2 раза в день, утром и вечером в течение 20 мин. По полученным данным экспериментальных исследований вычислялось среднее арифметическое количество автомобилей, проезжающих через пункт наблюдения в час [9]. Легковые и грузовые автомобили, автобусы и спецтехника учитывались отдельно. На основе полученных данных построена таблица 2.



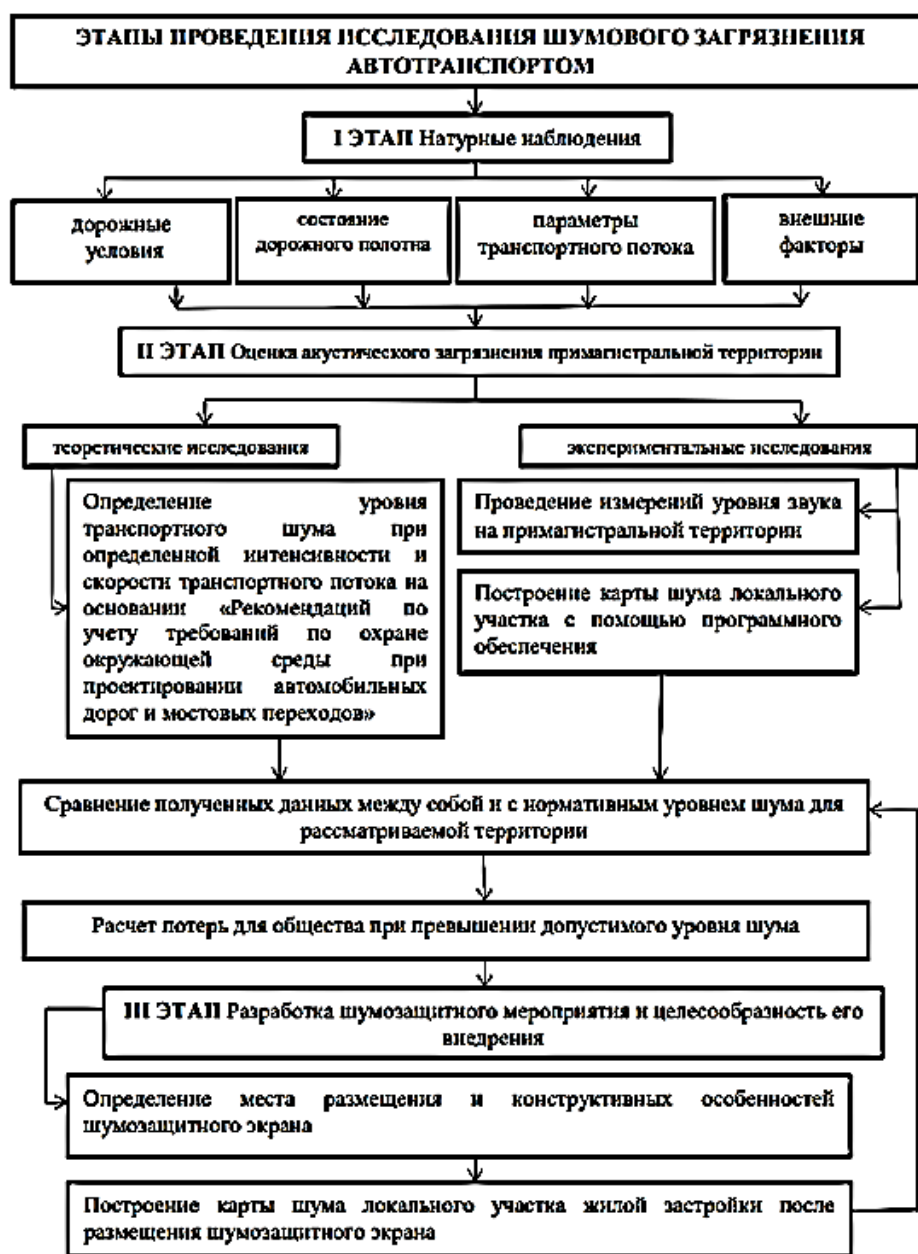


Рисунок 2 – Этапы проведения исследования

Таблица 2 – Результаты наблюдений за интенсивностью и составом транспортного потока

Название улицы		Средняя интенсивность движения, авт./ч			
		легковые	грузовые	автобусы	спецтехника
ул. Губкина	%	81,4	8,6	2,2	4,4
	среднее значение	1536	169	43	80

По итогу проведенных экспериментальных и расчетных исследований установлено, что 89 % транспортного потока состоит из легковых автомобилей, менее 4 % приходится на автобусы от общего числа. Количество автомобилей, движущихся по исследуемому участку, примерно равно как в зимний, так и в летний период года, в выходные дни автотранспорта движется меньше, в летнее время, по сравнению с буднями. В воскресенье количество автомобилей увеличивается на 51-74 %, а зимой – на 45-64 %.

На II этапе исследования, в рамках оценки акустического загрязнения прилегающей территории и теоретического исследования, проведен анализ расчетных методик и выяв-

лено, что самую объективную шумовую характеристику можно получить, используя «Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов» [4]. Все это дает возможность определить уровень звука в точке 7,5 м от проезжей части, который имеет наименьшую погрешность среднеквадратического отклонения в диапазоне 1-2 дБА. В расчетах значение средней скорости потока было принято равным 50 км/ч, при учете коррекции для дорожного покрытия – 1,5 дБА. Данные таблицы 3 демонстрируют шумовую характеристику.

Таблица 3 – Определение шума на исследуемом участке

Название улицы	Интенсивность движения, авт./ч		Процент грузовых автомобилей, %	Эквивалентный уровень звука, дБА	
	день	ночь		день	ночь
ул. Губкина	1828	462	9	80	69

Как показывают данные, приведенные в таблице 3, шумовая характеристика транспортного потока на локальной территории составляет 80 дБА днем и 69 дБА ночью. Наиболее акустически нагруженным является локальный участок, представленный на рисунке 3, где жилые дома, детская игровая площадка расположены в непосредственной близости от проезжей части.



Рисунок 3 – Наглядное представление исследуемого участка ул. Губкина

Для обеспечения полноты научных исследований было принято решение получить уровень шума экспериментальным методом. При организации экспериментальных исследований транспортных потоков следует учитывать, что они характеризуются наличием большого количества исходных данных с неполной достоверностью и практической невозможностью проведения экспериментов в чистых условиях [10].

Для того, чтобы произвести оценку шума на выбранном участке необходимо использовать уже существующие стандарты и нормы [11], которые определяют шумовые характеристики транспортных потоков в виде эквивалентных уровней звука. Существующие, на данный момент, стандарты позволяют рационально и эффективно определять значения шума транспортных потоков. К характеристикам данного стандарта относят условия проведения измерений. Здесь учитываются такие параметры как расстояние до перекрестков и остановок, скорость движения автомобилей, состояние дорожного полотна, интенсивность движения транспорта, пропускная способность автомобилей на участке дорог, скорость ветра и др. Поверхность дороги не должна содержать влагу и загрязнения. Расстояние от перекрестков должно быть не менее 50 м. Скорость движения автомобилей по участку дороги не изменяется, и она является постоянной величиной. Скорость ветра во время измерения шума должна не превышать 5 м/с.

Научные исследования проводились на участке между ул. Костюкова и ул. Королева на расстоянии 7,5 м от оси ближайшей к точке измерения полосы движения, на высоте 1,5 м над поверхностью дороги. Исследовалась улица Губкина в городе Белгороде. Для того, чтобы произвести исследования по измерению шума на выбранном участке применялся прибор

измерения звука DT-8852 второго класса точности. Данный прибор предназначен для определения величины шума транспортного потока на выбранном участке дороги. Чтобы наиболее точный получить результат, микрофон прибора расположили менее 1 м от стены здания, от которой может отобразиться звук. Микрофон направляли в сторону исследуемого участка дороги по ул. Губкина для измерения шума.

На участке дороги помимо измерения уровня шума проводилась также видеозапись транспортного потока. Для того, чтобы произвести наиболее полный анализ шумовыделения и шумопоглощения на выбранном участке необходимо оценить состояние транспортного потока еще и с камер видеонаблюдения. Запись камер наблюдения проводилась по 10 мин каждые 3 часа дня [12]. Общая продолжительность видеонаблюдения составила 30 мин. [13]. График измерения уровня звука представлен на рисунке 4.

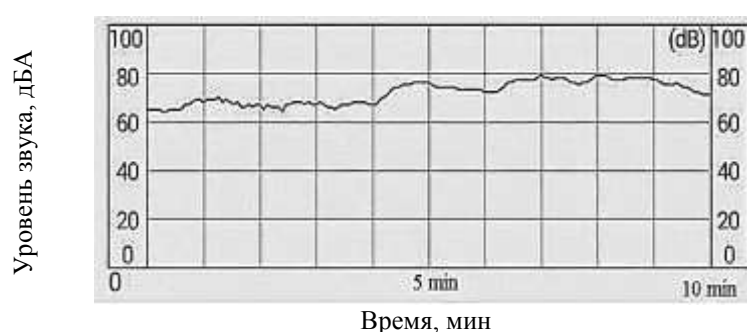


Рисунок 4 – Графическое представление измерений уровня звука на участке дороги

После проведения измерений уровня шума необходимо было провести обработку полученных данных. Для этого использовалась методика определения эквивалентного уровня шума на основе количества вариантов различных уровней шума по определенным интервалам [14]. В таблице 4 представлены полученные данные по уровню шума на исследуемом участке.

Таблица 4 – Доля количества откликов в определенном интервале уровней звука

Название улицы	N, авт./ч	Доля количества откликов в данном интервале уровней звука, дБА, в суммарном количестве откликов, %								$L_{\text{Аекв}}$ , дБА
		48-52	53-57	58-62	63-67	68-72	73-77	78-82	83-87	
ул. Губкина	2100	0,9	2,2	5,9	11,4	12,7	30,1	36,8	0	80

### Результаты

По результатам экспериментальных исследований установлено, что  $L_{\text{Аекв}}$  равен 80 дБА. Результаты, полученные теоретическим и экспериментальным методами, находятся в согласии.

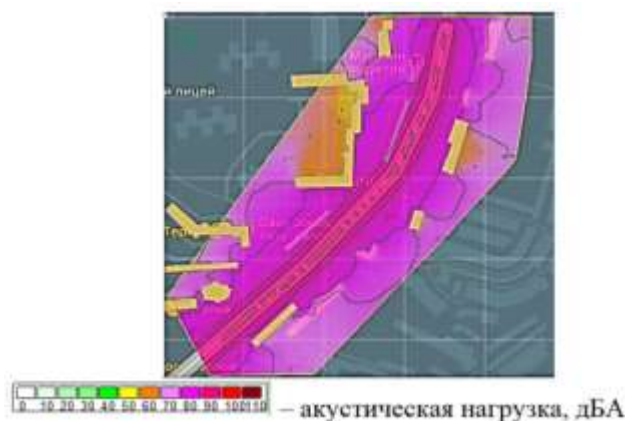


Рисунок 5 – Карта шума участка ул. Губкина до внедрения природоохранного мероприятия

Карта шума для исследуемого участка до внедрения природоохранного мероприятия представлена на рисунке 5.

Карта шума дает мгновенное и точное представление об уровне шума для каждой выбранной контрольной / вычислительной точки по сравнению с дискретными методами расчета. Поэтому было решено провести оценку акустической нагрузки с помощью программы «Акустика 3D». Для этого в программу была загружена карта рассматриваемого участка дороги ул. Губкина, на которую в дальнейшем были нанесены все объекты.

Шумовая карта показывает, что уровень шумовой нагрузки значительно высокий

$L_A=80$  дБА, что превышает допустимый уровень шума  $L_{\text{Аекв}}$  в 70 дБА в зонах, прилегающий к городской застройке. Наибольшее значение шума наблюдается в основных зданиях и дворах с внешней стороны, в то время как во внутренних дворах этот показатель резко снижается. Шумовая карта позволила определить границы зон, где уровень шума достигает контрольных значений. Эти данные представлены в виде разных цветов на рисунке 5.

При экономической оценке воздействия транспортного шума ущерб от шума определялся, как потеря части национального дохода из-за постоянного воздействия шума на людей [15].

Расчет ущерба в час с использованием коэффициента снижения национального дохода из-за воздействия шума производился с помощью следующей формулы:

$$Z_{\text{год}} = C_{\text{год}} \sum_{i=1}^n N_{\text{ЖЛ}_i} \cdot K_n(L_i), \quad (2)$$

где  $Z_{\text{год}}$  – почасовой ущерб от высоких уровней транспортного шума, руб./ч;

$C_{\text{год}}$  – стоимость работы одного человека за час, руб./ч;

$N_{\text{ЖЛ}_i}$  – количество людей на которых действует уровень шума, чел.;

$K_n(L_i)$  – коэффициент уменьшения национального дохода.

### Обсуждение

Шумовое загрязнение наносит большой вред окружающей среде и человеку. Установлено, что ущерб от шума составляет около 5230 руб./ч на 100 человек населения. Общий шум определяется количеством людей в доме и зависит от шума непосредственно производимом в самом доме (табл. 4).

После проведения оценки уровня шума на исследуемом участке установлено, что допустимые нормы звука значительно превышены.

II этап исследования был посвящен выявлению наиболее перспективного направления защиты городских построек, расположенных недалеко от дорог общего пользования. В результате исследований установлено, что наиболее эффективным способом защиты населения от шума является применение акустических экранов [16-18]. Акустические экраны обладают множеством преимуществ, например, эффективность защиты от шума в любой период времени, независимо от сезона года. Также к достоинствам акустических экранов относится своевременное и регулярное выполнение своих функций с момента установки. Так, например, у зеленых насаждений требуется определенное время для роста растений и деревьев до определенной высоты и только в этом случае применение этого способа защиты будет эффективно [19]. Предлагаемое устройство представляет собой комбинированный звукоизолирующий экран, состоящий из шумопоглощающих и шумоотражающих панелей длиной 60,5 м (рис. 6).

Целесообразно делать защитные конструкции прозрачными в связи с необходимостью обеспечения визуального комфорта жителей жилой зоны и достаточной видимости для водителей, но это ухудшает их защитные свойства [20]. По этой причине предлагается следующая конструкция защитного экрана, сочетающая в себе прозрачные и звукопоглощающие модули (рис. 7) [21, 22].

Такая конструкция защитного сооружения не только эффективно защищает жилые районы, прилегающие к автомагистрали, но и обеспечивает достаточную видимость дороги тем самым, не утяжеляя общий вид улицы.

С помощью программы «Акустика 3D» построена карта шума для исследуемого участка с размещением шумозащитного экрана (рис. 8).

Из шумовой карты видно, что эффективность снижения шумовой нагрузки с применением комбинированного шумозащитного экрана достигает 10-15 дБА и  $L_{\text{Аекв}} = 65-70$  дБА.

Ущерб, который наносит шумовое воздействие с уровнем звука  $L_i=65$  дБА при условии, что его действие распространяется на 100 человек составляет примерно 3138 руб./ч. Результаты исследования представлены в таблице 5.

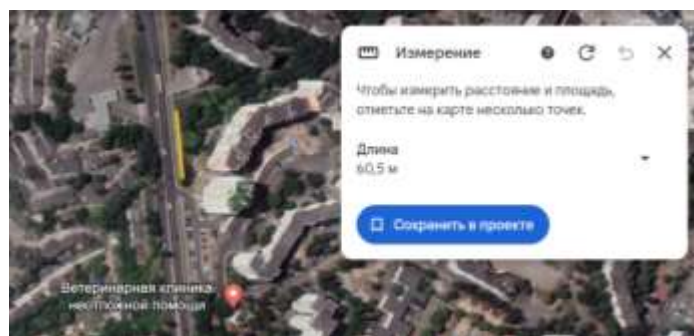


Рисунок 6 – Размещение комбинированного шумозащитного экрана



Рисунок 7 – Иллюстрационное представление размещения модулей комбинированного шумозащитного сооружения

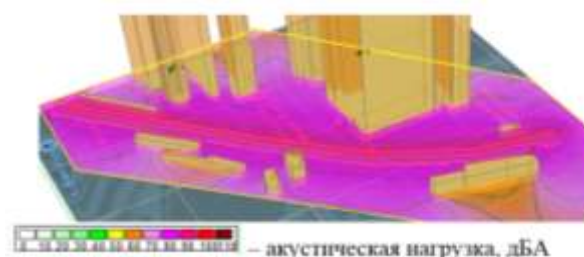


Рисунок 8 – Карта шума локального участка ул. Губкина после внедрения природоохранного мероприятия

Таблица 5 – Результаты проведения исследования и внедрения природоохранного мероприятия

Показатель	До внедрения мероприятия	После внедрения мероприятия	$\Delta$
Уровень шума, дБА	80	65	-15
Ущерб от шумового воздействия на 100 человек, руб./ч	5230	3138	-2092

Это означает, что размещение шумозащитного экрана на данном участке дороги – целесообразный метод снижения шума.

### Выводы

Чтобы оценить комбинированное воздействие шума от всех источников, а также спрогнозировать суммарное воздействие шума была построена карта шумовой нагрузки прилегающей территории до и после размещения акустического экрана. По результатам исследований установили, что жилые массивы подвержены повышенным уровням звука. Улица Губкина в городе Белгороде находится в зоне акустического дискомфорта (уровень шума 80 дБА), что превышает допустимый уровень шума – 70 дБА. Результаты расчетов позволяют оценить степень техногенного воздействия при эксплуатации автомагистрали на состояние окружающей среды – 5230 руб./ч на каждые 100 человек.

В качестве меры по борьбе с транспортным шумом на прилегающей территории обосновано размещение шумозащитного экрана. Установлено, что размещение комбинированного шумозащитного экрана позволит снизить уровень шумовой нагрузки примерно на 10-15 дБА. Определили, что ущерб от шумового воздействия на каждые 100 человек, подвергающихся шумовой нагрузке, после внедрения природоохранного мероприятия снизится на 2092 руб./ч.

Полученные результаты в ходе расчетных и экспериментальных исследований позволяют разработать требуемые нормы по обеспечению защиты населения от чрезмерной звуковой нагрузки, а также осуществлять регулярный контроль за уровнем шума от дорог общего пользования с целью повышения экологической безопасности и эффективной организации дорожного движения.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Murphy E., King T. Environmental Noise Pollution, Noise Mapping, Public Health and Policy // University of Hartford, CT, Elsevier Inc. 2014. 282 p.
2. James P. Chambers. Noise Pollution // Advanced Air and Noise Pollution Control. 2005. Vol. 2. P. 441-452.
3. Traffic and Environment / D. Gruden, W. Berg, K. Bormann et al. Luxenburg. Springer. 2011. 294 p.
4. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов: Министерство транспорта Российской Федерации. Москва. 1995.
5. Германова Т.В. К вопросу обеспечения акустической безопасности населения городов. Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013. Вып. 2(24). С. 29-31.
6. Павлова Е.И. Экология транспорта. М.: Транспорт, 2010. 247 с.
7. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением / под ред. М.Я. Блинкина. М.: Транспорт, 1983. 248 с.
8. Berglund B., Dietrich T., Schwela H. Guidelines for community noise. Geneva: World Health Organization, 2011. 160 p.
9. Бочаров А.А., Соловьев А.В. Влияние интенсивности транспортного потока на общий уровень акустического загрязнения // Известия вузов. Физика. 2010. Т. 53. №9/3. С. 225-226.
10. Горбачев П.Ф., Дмитриев И.А. Основы теории транспортных систем: учеб. пос. Х.: ХНАДУ, 2002. 202 с.
11. Межгосударственный стандарт. Шум. Методы измерения шума на территориях жилой застройки и в помещениях жилых и общественных зданий.
12. Berglund B., Dietrich T., Schwela H. Guidelines for community noise. Geneva: World Health Organization, 2011. 160 p.
13. Babisch W. Transportation noise and cardiovascular risk: updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. Noise Health. 2006. №8(30). P. 1-29.
14. Абрамитов В.Э. Методологическая основа составления карты шума г. Харькова // Научный весник строительства. Вып. 55. Х.: ХДТУБА ХОТВ АБУ. 2009. С. 279-284.
15. Микитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и человек // М.: ВШ. 1980. 422 с.
16. Мальцев А.С., Нисина О.Е. Транспортный шум. Защита от шума // Молодежная наука в развитии регионов. 2021. Т. 1. С. 281-282.
17. Корчака А.В. О методах защиты городской среды от транспортного шума // Современные инновации. 2018. № 1 (23). С. 5-8.
18. Армишева Г.Т., Бутузова А.А. Защита урбанизированных территорий от транспортного шума // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2017. Т. 1. С. 86-89.
19. Лежнева Е.И. Транспортный шум и рациональное преобразование городской среды // Научные технологии и инновации (XXV научные чтения): сб. Международной научно-практической конференции посвященной 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. Ч.11.
20. Курдюкова М.Д., Лежнева Е.И. Анализ риска возникновения аварийной ситуации на автомобильной дороге при размещении защитных инженерных конструкций // сб. Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ (посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова). Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. Ч.11.
21. Шумозащитные экраны из перфорированного листа [Электронный ресурс]. URL: <https://www.perfolist.ru/news/26/361/>.
22. Мягченко А.А., Семькина А.С., Загородний Н.А. Повышение экологической безопасности при эксплуатации автомобилей // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2018): сборник статей X Международной научно-технической конференции. Курск: ЗАО «Университетская книга». 2018. С. 174-177.

### **Лежнева Елена Ивановна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

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

### **Загородний Николай Александрович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

E-mail: [n.zagorodnij@yandex.ru](mailto: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](mailto:fantarock@mail.ru)

## INVESTIGATION OF TRAFFIC NOISE AND JUSTIFICATION OF THE PLACEMENT OF ENGINEERING STRUCTURES ON THE MAINLINE TERRITORY

**Abstract.** A theoretical and experimental study of the acoustic load of the mainline territory has been carried out. With the help of software, a noise map was built and, as a measure to combat traffic noise on the mainline territory, the placement of a noise shield was justified, taking into account the loss of part of national income as a result of constant exposure to noise.

**Keywords:** motor transport, traffic flows, traffic intensity, traffic noise, noise map, noise shield

### BIBLIOGRAPHY

1. Murphy E., King T. Environmental Noise Pollution, Noise Mapping, Public Health and Policy // University of Hartford, CT, Elsevier Inc. 2014. 282 p.
2. James P. Chambers. Noise Pollution // Advanced Air and Noise Pollution Control. 2005. Vol. 2. R. 441-452.
3. Traffic and Environment / D. Gruden, W. Berg, K. Bormann et al. Luxemburg. Springer. 2011. 294 p.
4. Rekomendatsii po uchetu trebovaniy po okhrane okruzhayushchey sredy pri proektirovaniy avtomobil'nykh dorog i mostovykh perekhodov: Ministerstvo transporta Rossiyskoy Federatsii. Moskva. 1995.
5. Germanova T.V. K voprosu obespecheniya akusticheskoy bezopasnosti naseleniya gorodov. Vektor nauki Tol'yatinskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. Vyp. 2(24). S. 29-31.
6. Pavlova E.I. Ekologiya transporta. M.: Transport, 2010. 247 s.
7. Inose H., Hamada T. Upravlenie dorozhnym dvizheniem / pod red. M.YA. Blinkina. M.: Transport, 1983. 248 s.
8. Berglund B., Dietrich T., Schwela H. Guidelines for community noise. Geneva: World Health Organization, 2011. 160 p.
9. Bocharov A.A., Solov'ev A.V. Vliyaniye intensivnosti transportnogo potoka na obshchiy uroven' akusticheskogo zagryazneniya // Izvestiya vuzov. Fizika. 2010. T. 53. №9/3. S. 225-226.
10. Gorbachev P.F., Dmitriev I.A. Osnovy teorii transportnykh sistem: ucheb. pos. H.: HNADU, 2002. 202 s.
11. Mezhdunarodnyy standart. Shum. Metody izmereniya shuma na territoriyakh zhiloy zastroyki i v pomeshcheniyakh zhilykh i obshchestvennykh zdaniy.
12. Berglund B., Dietrich T., Schwela H. Guidelines for community noise. Geneva: World Health Organization, 2011. 160 p.
13. Babisch W. Transportation noise and cardiovascular risk: updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. Noise Health. 2006. №8(30). R. 1-29.
14. Abrakotov V.E. Metodologicheskaya osnova sostavleniya karty shuma g. Har'kova // Nauchnyy vesnik stroitel'stva. Vyp. 55. H.: HDTUBA HOTV ABU. 2009. S. 279-284.
15. Mikitin D.P., Novikov YU.V. Okruzhayushchaya sreda i chelovek // M.: VSH. 1980. 422 s.
16. Mal'tsev A.S., Nisina O.E. Transportnyy shum. Zashchita ot shuma // Molodezhnaya nauka v razvitiy regionov. 2021. T. 1. S. 281-282.
17. Korchaka A.V. O metodakh zashchity gorodskoy sredy ot transportnogo shuma // Sovremennye innovatsii. 2018. № 1 (23). S. 5-8.
18. Armisheva G.T., Butuzova A.A. Zashchita urbanizirovannykh territoriy ot transportnogo shuma // Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. 2017. T. 1. S. 86-89.
19. Lezhneva E.I. Transportnyy shum i ratsional'noe preobrazovanie gorodskoy sredy // Naukoemkie tekhnologii i innovatsii (HHV nauchnye chteniya): sb. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii posvyashchennoy 170-letiyu so dnya rozhdeniya V.G. Shukhova. Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova. 2023. CH.11.
20. Kurdyukova M.D., Lezhneva E.I. Analiz riska vozniknoveniya avariynoy situatsii na avtomobil'noy doroge pri razmeshchenii zashchitnykh inzhenernykh konstruktsiy // sb. Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh BGTU (posvyashchennaya 170-letiyu so dnya rozhdeniya V.G. Shukhova). Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova. 2022. CH.11.
21. Shumozashchitnye ekrany iz perforirovannogo lista [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.perfolist.ru/news/26/361/>.
22. Myagchenko A.A., Semykina A.S., Zagorodny N.A. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti pri ekspluatatsii avtomobiley // Sovremennye avtomobil'nye materialy i tekhnologii (SAMIT-2018): sbornik statey X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Kursk: ZAO «Universitetskaya kniga». 2018. S. 174-177.

#### Lezhneva Elena Ivanovna

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: legnevaelena@gmail.com

#### Semykina Alla Sergeevna

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

#### Zagorodny Nikolay Alexandrovich

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

Научная статья

УДК 621.7

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

А.В. ГОРИН, И.В. РОДИЧЕВА, А.Д. СЕРЕБРЕННИКОВ, К.В. ВАСИЛЬЕВ

## КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИНЕРЦИОННОГО ГАСИТЕЛЯ

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований вибрационного состояния подшипника качения экспериментального роторного стенда с инерционным гасителем. Показана установка для экспериментальных исследований. Представлены зависимости, позволяющие рассчитать частоты дефектов дорожек колец, элементов качения и сепаратора подшипника качения. Установлено, что спектры виброскорости и виброускорения подшипника качения позволяют выявить в системе дополнительные вибрационные воздействия, которые связаны с наличием неуравновешенных масс ротора, а также с наличием дефектов подшипника качения: деформацией внешней и внутренней дорожек качения, деформацией тела качения и трещины в сепараторе. Даны рекомендации по снижению интенсивности колебаний роторной системы.

**Ключевые слова:** подшипник, вибрация, скорость, ускорение, деформация

### Введение

Процесс вибрационного воздействия может не только вызывать дискомфорт, но и представлять серьезную угрозу для здоровья, особенно если вы проводите в транспортном средстве длительный период времени. Это касается как водителей, так и пассажиров в целом. Опасность от вибраций заключается в комплексном воздействии на все системы организма. Если громкий звук влияет в основном на органы слуха, то вибрации затрагивают все части тела. Механические колебания воспринимаются вестибулярным аппаратом, мышцами и суставами, глазами. Через костную ткань они передаются непосредственно на внутренние органы. Согласно официальным документам [1, 2], вибрации, воздействующие на сидящего человека (водителя или пассажира), могут быть опасны для: поясничных позвонков и связанных с ними нервных окончаний. Вибрации могут нарушить питание ткани диска, что может привести к дегенеративным процессам в поясничных сегментах позвоночника: артрозу, остеохондрозу и другим заболеваниям [3, 4]. Это вызывает болезненные ощущения, которые могут усиливаться особенно из-за сидячего положения. Известно, что колебания с частотой до 0,5 Гц вызывают только укачивание. Частота 3–5 Гц усиливает эти ощущения. А при колебаниях частотой 11–45 Гц могут возникать функциональные нарушения в организме человека [5, 6].

### Материал и методы

Защита от вибрации известны несколько ключевых подходов: таких как динамическое гашение вибраций; применение маятниковых гасителей вибраций; вибро- и шум поглощающих панелей; использование индивидуальных виброзащитные системы (ВЗС) и эргономичных сиденьев, а также использование стратегии управления ВЗС [7-9].

Отдельное внимание стоит уделить использованию инерционных возбудителей в конструкции транспортных средств (железнодорожного, автомобильного и авиационного транспорта) [10]. Особенно это необходимо для перевозки медицинского транспорта, где наличие данного устройства обеспечить стабильность и комфорт во время транспортировки пациентов. Применение инерционных вибровозбудителей помогает снизить уровень вибрации и тряски, которые могут негативно сказаться на состоянии здоровья пациентов, особенно тех, кто находится в критическом состоянии или нуждается в специализированной медицинской помощи [11].



Инерционный вибровозбудитель работает на основе принципа дебаланса, создавая дисбаланс массы, который вызывает вибрацию. Это достигается путем размещения дебалансира на вращающейся оси, что приводит к созданию центробежной силы, вызывающей вибрацию [12, 13]. Таким образом, можно сказать, что инерционный вибровозбудитель является важным компонентом современного медицинского транспорта, обеспечивающим высокое качество и безопасность перевозок больных [14, 15].

Одним из ответственных элементов в конструкции инерционного вибровозбудителя являются два подшипниковых узла, на которые опирается ось (ротор). Воздействие вибрации от работы самого вибровозбудителя на подшипниковые узлы может иметь серьезные последствия для работы самого как на работу самого узла, так и на процессы, для которых они используются. Основные последствия включают: износ и выход из строя подшипников, потеря эффективности, безопасность. Для оценки последствий вибрации на подшипниковые узлы был проведен ряд экспериментов на экспериментальной роторно-опорной установке.

### Теория

По имеющимся техническим характеристикам подшипника качения можно теоретически рассчитать частоты дефектов дорожек колец, элементов качения и сепаратора подшипника качения [16, 17]. Таблица 1 отображает технические характеристики диагностируемого подшипника качения 6202, используемого в качестве опоры.

Таблица 1 Технические характеристики подшипника качения

Параметры	Обозначение	Значение
Диаметр шарика	$d$	0,00794 м
Диаметр делительной окружности	$D$	0,025 м
Количество шариков	$N$	8
Угол контакта	$\alpha$	$0^\circ$

Частота дефекта внешней дорожки (BPFO - Ball Pass Frequency Outer race):

$$\text{BPFO} = \frac{N}{2} fr \left( 1 - \frac{D}{d} \cos(\alpha) \right), \quad (1)$$

где  $N$  – количество элементов качения;

$fr$ , Гц – частота вращения вала;

$d$ , м – диаметр элемента качения;

$D$ , м – диаметр делительной окружности подшипника;

$\alpha$ , рад – угол контакта.

Частота дефекта внутренней дорожки (BPFI - Ball Pass Frequency Inner race):

$$\text{BPFI} = \frac{N}{2} fr \left( 1 + \frac{D}{d} \cos(\alpha) \right). \quad (2)$$

Частота дефекта элемента качения (BSF - Ball Spin Frequency):

$$\text{BSF} = \frac{D}{2d} fr \left( 1 - \left( \frac{D}{d} \cos(\alpha) \right)^2 \right). \quad (3)$$

Частота дефекта сепаратора (FTF - Fundamental Train Frequency):

$$\text{FTF} = \frac{fr}{2} \left( 1 - \frac{D}{d} \cos(\alpha) \right). \quad (4)$$

Частоты дефектов (BPFO, BPFI, BSF, FTF) используются при проведении анализа вибрационных сигналов. Так, совпадение пиков на спектре вибрации с теоретически рассчитанными частотами дефектов указывает на наличие соответствующих повреждений. Например, если повреждена наружная дорожка подшипника, то это неизбежно приводит к повышению интенсивности вибрационного воздействия на частоте BPFO.

Согласно представленных уравнений, проведен расчет дефектов дорожек колец, элементов качения и сепаратора подшипника качения и представим полученные значения в таблице 2.

Таблица 2 - Частота вращения и частоты неисправностей подшипника качения

№	Параметр	Значение
1	Частота вращения, Гц	50
2	BPFO - частота прохода тела качения по наружной дорожке качения, Гц	136,5
3	BPFI - частота прохода тела качения по внутренней дорожке качения, Гц	263,5
4	BSF - частота вращения тела качения, Гц	70,8
5	FTF - основная частота качения, Гц	17,1

Эксперимент. Задача экспериментальных исследований, связанная с мониторингом вибрационного состояния подшипниковых узлов, заключается в получении исходной информации, которая необходима для выбора и обоснования систем виброзащиты, обеспечивающих вибрационную безопасность роторных систем.

Экспериментальная установка (рис. 1) представляет собой роторно-опорный узел, состоящий из асинхронного электродвигателя 1 соединённого через муфту 2 с ротором 3, который установлен в опорных подшипниковых узлах 4 и 5, закрепленных на платформе 6. На роторе 3 закреплен нагрузочный диск 7 с возможностью установки элементов 8 для дисбаланса системы. Опорный узел с подшипником качения 4 и 5 представляет собой корпус 9, в котором размещена промежуточная втулка-корпус 10 с подшипником качения 11.

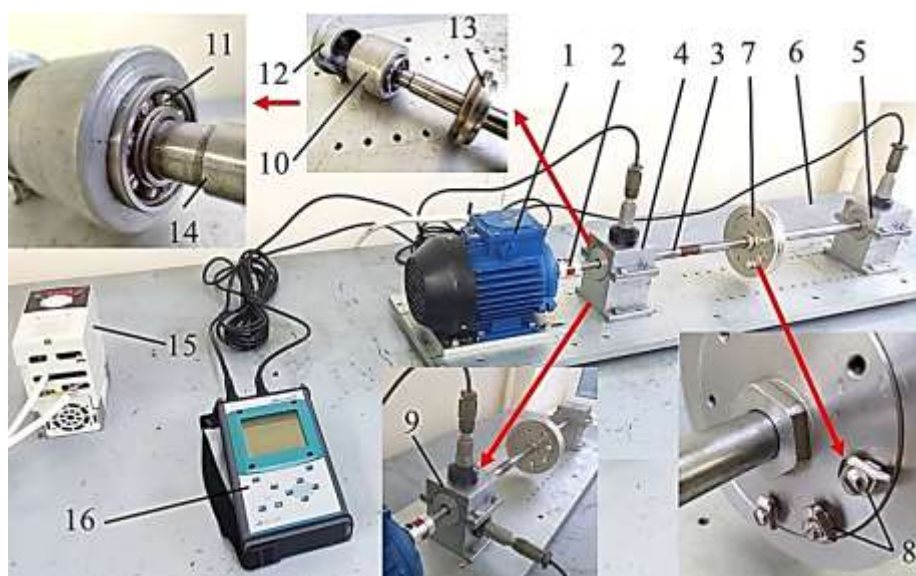


Рисунок 1 – Экспериментальная установка

Осевое крепление подшипников качения 11 относительно корпуса осуществляется с помощью закладных крышек 12 и 13, а относительно ротора 3 с упором в ступень 14 и стопорным кольцом (на рисунке не указано). Управление двигателем 1 осуществлялось с помощью частотного преобразователя 15. В качестве контрольно-измерительной системы 16 для оценки вибрации в опорных подшипниковых узлах использовали виброанализатор АГАТ-М. Эксперимент проводился на стационарной частоте вращения 50 Гц.

Проводимый эксперимент делился на три этапа: первый – включал в себя снятие вибрационных сигналов (виброскорости и виброускорения) для нового (идеального) подшипника качения; второй этап – снятие вибрационных сигналов для нового подшипника качения, воспринимающего вибрационные воздействия от неуравновешенной массы ротора; третий этап – снятие вибрационных сигналов для подшипника качения с заранее заложенными дефектами, а также воспринимающего вибрационные воздействия от неуравновешенной массы ротора.

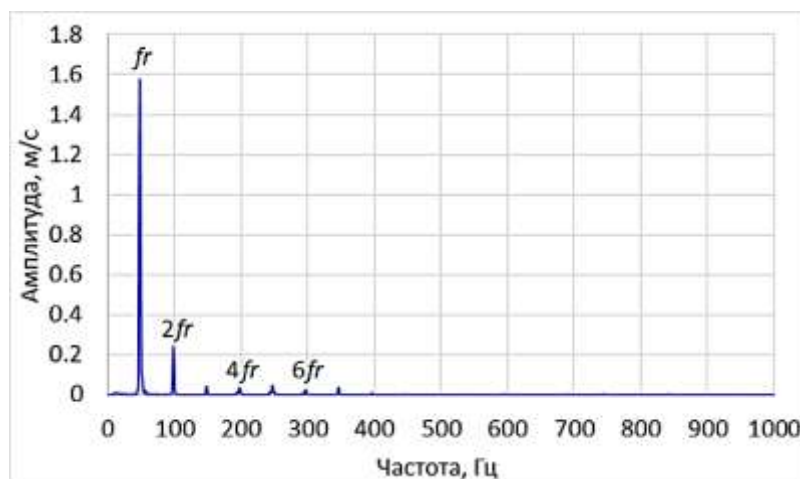
Роль неуравновешенной массы выполнял трёхграммовый элемент 8 установленный на диске 7 ротора 3 (рисунок 1) с эксцентриситетом 0,05 м. Подшипник качения имел следу-

ющие дефекты: деформацию внешней и внутренней дорожек качения, деформацию тела качения и трещину в сепараторе.

### **Результаты и обсуждение**

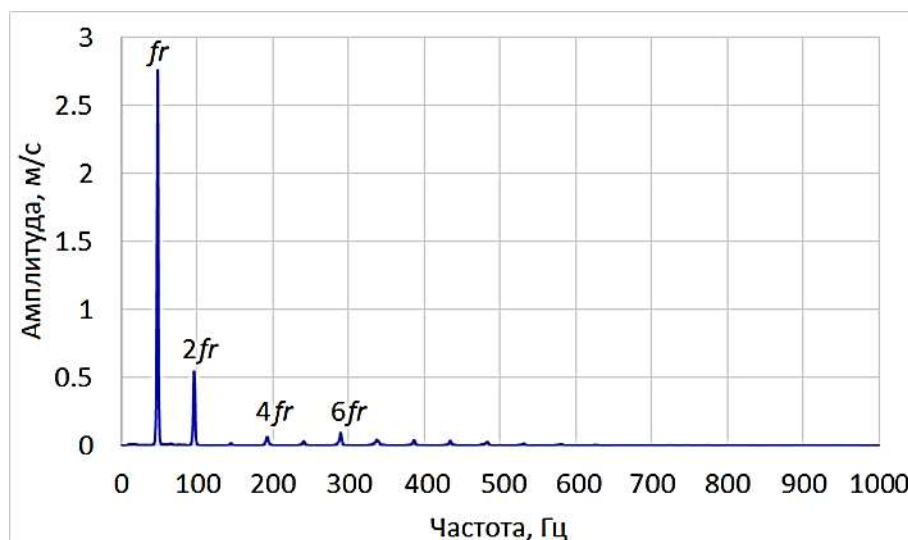
Задача экспериментальных исследований, связанная с мониторингом вибрационного состояния подшипниковых узлов, заключается в получении исходной информации, которая необходима для выбора и обоснования систем виброзащиты, обеспечивающих вибрационную безопасность роторных систем.

В ходе проведенных экспериментов были получены следующие результаты. На рисунках 2–4 представлены спектры виброскорости в полосе частот 0 – 1000 Гц, снятые при частоте вращения ротора 50 Гц.



*Рисунок 2 - Спектр FFT вертикальной скорости для подшипника без дефектов*

Спектр виброскорости на рисунке 2 демонстрирует хорошее состояние нового подшипника качения, которое характеризуется низким уровнем основной гармоники на преобладающей частоте вращения ротора и наличием ряда гармоник малой амплитуды 2fr, 3fr, 4fr, 5fr, 6fr, 7fr.



*Рисунок 3 - Спектр FFT вертикальной скорости для подшипника при наличии неуравновешенной массы ротора*

На рисунке 3 представлен спектр виброскорости, который характеризует влияние на подшипник качения дополнительных вибрационных воздействий, связанных с наличием неуравновешенных масс ротора. Отмечается, что в этом случае амплитуда основной гармоники увеличилась почти в 2 раза.

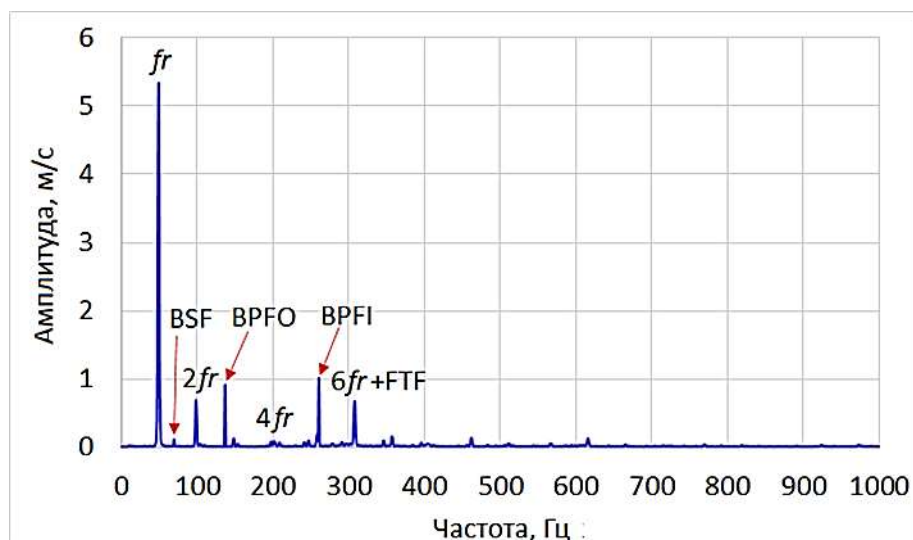


Рисунок 4 - Спектр FFT вертикальной скорости для поврежденного подшипника

Дополнительно на рисунке 4 представлен спектр виброскорости, который позволяет идентифицировать по периодическим импульсам (пиковым значениям) соответствующие дефекты, а также наличие неуравновешенных масс ротора. Пиковые значения спектра виброускорения на частотах  $fr=50$  Гц,  $BPFO = 136,5$  Гц,  $BPFI = 263,5$  Гц,  $BSF = 70$  Гц свидетельствуют соответственно о наличии дисбаланса ротора, неисправности внешнего кольца, неисправности внутреннего кольца, неисправности тела качения. Кроме того, также идентифицируется гармоника, генерируемая модуляцией частот неисправности сепаратора, такая как  $6fr + FTF = 317$  Гц, что в целом представляет собой типичную вибрационную характеристику подшипников качения с начальными дефектами дорожек качения, тела качения и сепаратора [18].

Для подшипников качения также можно выделить характерные спектрограммы вертикального виброускорения, связанные с различной степенью повреждения, представленные на рисунках 5 и 6.

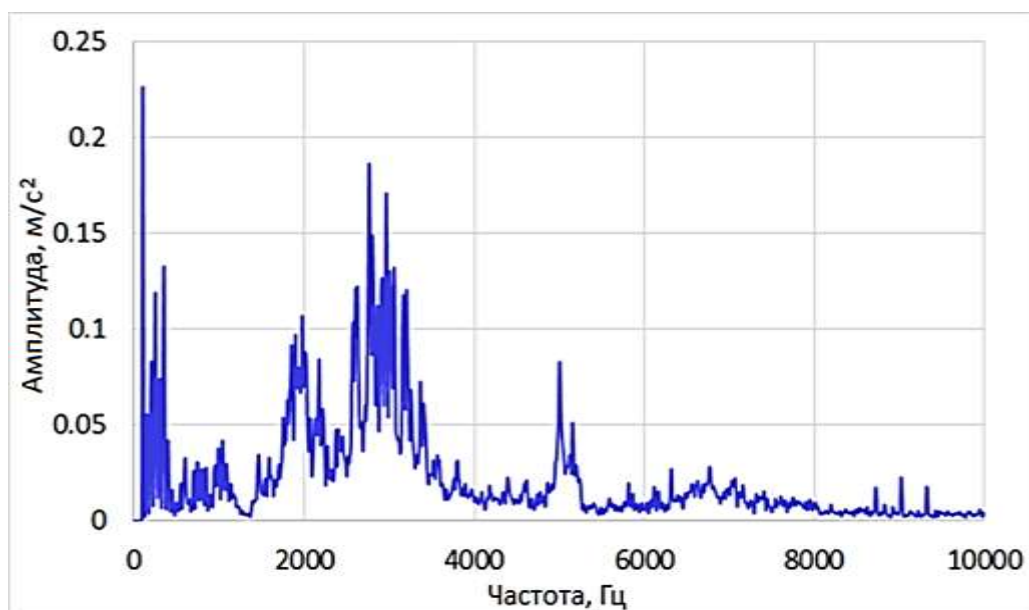


Рисунок 5 - Спектр вертикального виброускорения для подшипника без дефектов

Как видно, исправное состояние подшипника качения характеризуется наличием незначительных по амплитуде составляющих в низкочастотной области исследуемого спектра 10-4000 Гц. Наличие же повреждений подшипника качения связано с образованием широко-

полосного шума в области высоких частот в диапазоне 7-10 кГц с пиковыми значениями 2,5-4 м/с<sup>2</sup>. Дальнейшая эксплуатация подшипника качения без наличия виброзащитной системы неизбежно приведет к аварийной ситуации.

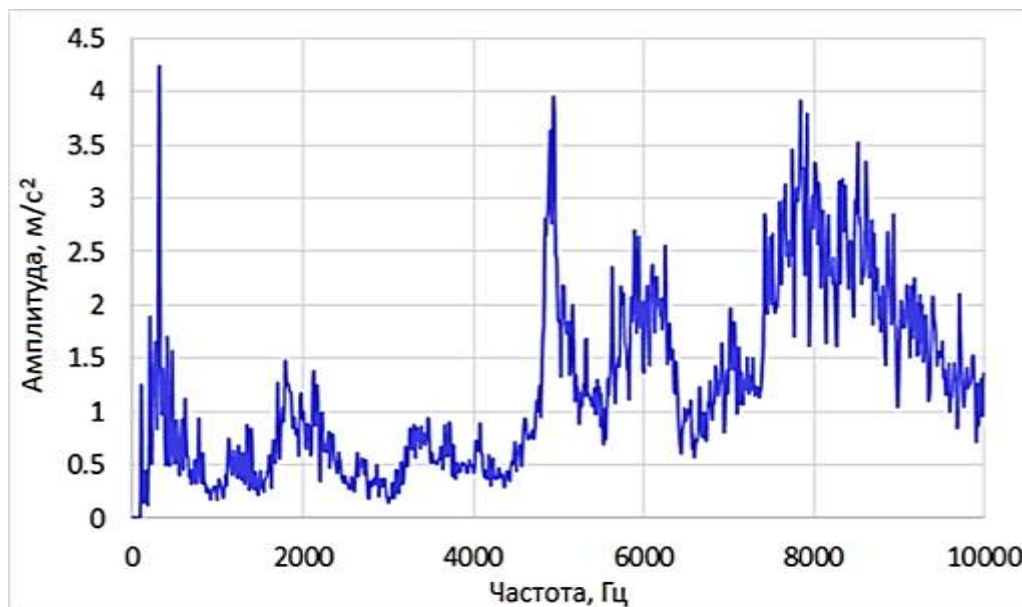


Рисунок 6 - Спектр вертикального виброускорения для поврежденного подшипника

Поскольку роторная система генерирует высокочастотные и существенно нелинейные вибрационные процессы, то для снижения их интенсивности и, соответственно, повышения вибрационной безопасности роторной системы, необходимо применять высокоэффективные управляемые виброзащитные системы. Предполагается, что при оптимальном управлении исполнительные элементы этих систем, которые реализуют, например, пьезоэлектрические или магнитострикционные эффекты, могут обеспечить требуемую интенсивность вибрации подшипниковых узлов [19]. Аналогично, с этими же целями, при наличии электромагнитных актуаторов, воздействующих на ротор, можно целенаправленно изменять относительное смещение ротора [20].

### Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- спектры виброскорости и виброускорения подшипника качения позволяют выявить в системе дополнительные вибрационные воздействия, которые связаны с наличием неуравновешенных масс ротора, а также с наличием дефектов подшипника качения: деформацией внешней и внутренней дорожек качения, деформацией тела качения и трещины в сепараторе;
- необходимо рекомендовать ввести в конструкцию вибровозбудителя интеллектуальные подшипники качения (smart bearing), которые позволят эффективно и своевременно отслеживать износ и предотвращать аварийные ситуации, связанные с подшипниковыми узлами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хвостиков А.С. Вибрационный анализ роторной системы турбокомпрессоров // Современные наукоемкие технологии. 2020. №6-2. С. 293-298.
2. Калашников В.С., Кузина Е.А., Яшин Д.С. Анализ причин возникновения вибрации в изделиях авиационной техники // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. 2016. Т. 1. С. 165-167.
3. Алексеева Л.Б., Уваров В.П. Причины возникновения и методы уменьшения вибраций роторных машин // Наука и современность. 2012. №18. С. 172-176.
4. Миндрин В.И., Пачурин Г.В., Ребрушкин М.Н. Причины и снижение низко- и высокочастотной вибрации энергетических машин // Современные наукоемкие технологии. 2015. №4. С. 89-94.
5. Новиков А.Н. Технологические основы восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники из алюминиевых сплавов электрохимическими способами. Орел: ОрелГАУ. 2001. 233 с.

6. Миронов Д.А., Сальников А.Ф. Анализ исследований динамического поведения роторных систем в процессе эксплуатации (обзор) // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2023. №73. С. 41-51.
7. Zhao, Meng, Xue-feng Zhang, Jingchao Zhang, Bin Hu, Yun Yang Application study of nano-copper based composite anti-friction coating for corrosion resistant couplings // Journal of petroleum science And Engineering. Vol. 157. 2017. P. 1143-1147.
8. Yan Hao, Xiyang Zhou, Jiajia Shao, Yukun Zhu The influence of multiple fillers on friction and wear behavior of epoxy composite coatings // Surface and coatings technology. Vol. 362. 2019. P. 213-219.
9. Chijia Wang, Huaiyuan Wang, Meiling Li, Zhanjian Liu, Ningzhong Bao. Anti-corrosion and wear resistance properties of polymer composite coatings: effect of oily functional fillers // Journal of the taiwan institute of chemical engineers. Vol. 85. 2018. P. 248-256.
10. Gorin A.V., Rodichev A.Yu., Tokmakova M.A. Adhesive strength research of film antifriction coatings // Materials today: proceedings. Vol. 19. Part 5. 2019. P. 2329-23328.
11. Белобородов С.М., Цельмер М.Л., Модорский В.Я. Анализ и минимизация аварийной виброактивности высокоскоростных роторов // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. №5. С. 53-55.
12. Goverdovskiy V.N., Zobov A.V. Состояние и методы повышения качества виброзащиты вертолета // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. №4. С. 191-196.
13. Кирюхин А.В., Мильман О.О., Сережкин Л.Н., Лошкарева Е.А. Снижение вибрации и шума от энергетических установок пассивными и активными методами // Теплоэнергетика. 2022. №11. С. 57-68.
14. Чичков Б.А. Способ вибрационного мониторинга роторных машин // Научный Вестник МГТУ ГА 2018 Том 21. №1. С. 137-146.
15. Чернышев В.И., Майоров С.В., Фомина О.В. Разработка модели управляемой роторной системы // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. №6. С. 128-135.
16. Jinfeng Huang, Lingli Cui, Jianyu Zhang. Tracking the location of bearing outer raceway defects using multidimensional synchronous signal fusion and tensor Rank-1 decomposition // Measurement. Vol. 198. 2022. 111137
17. Xiaomeng Li, Yi Wang, Guangyao Zhang, Baoping Tang, Yi Qin. Correlation warping radius tracking for condition monitoring of rolling bearings under varying operating conditions // Mechanical Systems and Signal Processing. Vol. 208. 2024. 110943.
18. Ступин А.В., Пудов Д.И. Эксплуатационные дефекты подшипников качения и их проявление в вибросигнале // Научный альманах. 2016. №4-3(18). С. 197-204.
19. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В., Карев П.В. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. СПб: Университет ИТМО, 2017. 134 с.
20. Брель Д.И., Гаммель Р.А., Гордиенко А.В. Применение «умных» структур в станкостроении // Новые горизонты - 2022: Сборник материалов IX Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума. Минск: БНТУ. 2022. С. 85-87.

**Горин Андрей Владимирович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302020, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
К.т.н., доцент, кафедры мехатроники, механики и робототехники  
E-mail: gorin57@mail.ru

**Родичева Ирина Владимировна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: Россия, 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
Аспирант  
E-mail: rodfox@yandex.ru

**Серебренников Артем Дмитриевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302020, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Студент  
E-mail: silver93.57@mail.ru

**Васильев Кирилл Владимирович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302020, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Студент  
E-mail: roddh@yandex.ru

---

A.V. GORIN, I.V. RODICHEVA, A.D. SEREBRENNIKOV, K.V. VASILIEV

## CONTROL OF THE CONDITION OF BEARING UNITS OF THE VEHICLE UNDER THE IMPACT OF INERTIAL DAMPER

***Abstract.** The article presents the results of studies of the vibration state of a rolling bearing of an experimental rotor stand with an inertial damper. The experimental research setup is shown. The dependencies are presented that allow calculating the frequencies of defects in the raceways of rings, roll-*



*ing elements and the separator of a rolling bearing. It is established that the vibration velocity and vibration acceleration spectra of a rolling bearing allow identifying additional vibration effects in the system that are associated with the presence of unbalanced rotor masses, as well as with the presence of rolling bearing defects: deformation of the outer and inner raceways, deformation of the rolling element and cracks in the separator. Recommendations are given for reducing the intensity of vibrations of the rotor system.*

**Keywords:** bearing, vibration, speed, acceleration, deformation

## BIBLIOGRAPHY

1. Hvoshtikov A.S. Vibratsionnyy analiz rotornoy sistemy turbokompressorov // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2020. №6-2. S. 293-298.
2. Kalashnikov V.S., Kuzina E.A., Yashin D.S. Analiz prichin vozniknoveniya vibratsii v izdeliyakh aviatsionnoy tekhniki // *Nadezhnost' i kachestvo: Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma*. 2016. T. 1. S. 165-167.
3. Alekseeva L.B., Uvarov V.P. Prichiny vozniknoveniya i metody umen'sheniya vibratsiy rotornykh mashin // *Nauka i sovremennost'*. 2012. №18. S. 172-176.
4. Mindrin V.I., Pachurin G.V., Rebrushkin M.N. Prichiny i snizhenie nizko- i vysokochastotnoy vibratsii energeticheskikh mashin // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2015. №4. S. 89-94.
5. Novikov A.N. Tekhnologicheskie osnovy vosstanovleniya i uprochneniya detaley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki iz alyuminievykh splavov elektrokhimicheskimi sposobami. Orel: OrelGAU. 2001. 233 s.
6. Mironov D.A., Sal'nikov A.F. Analiz issledovaniy dinamicheskogo povedeniya rotornykh sistem v protsesse ekspluatatsii (obzor) // *Vestnik PNIPU. Aerokosmicheskaya tekhnika*. 2023. №73. S. 41-51.
7. Zhao, Meng, Xue-feng Zhang, Jingchao Zhang, Bin Hu, Yun Yang Application study of nanocopper based composite anti-friction coating for corrosion resistant couplings // *Journal of petroleum science And Engineering*. Vol. 157. 2017. P. 1143-1147.
8. Yan Hao, Xiyang Zhou, Jiajia Shao, Yukun Zhu The influence of multiple fillers on friction and wear behavior of epoxy composite coatings // *Surface and coatings technology*. Vol. 362. 2019. P. 213-219.
9. Chijia Wang, Huaiyuan Wang, Meiling Li, Zhanjian Liu, Ningzhong Bao. Anticorrosion and wear resistance properties of polymer composite coatings: effect of oily functional fillers // *Journal of the taiwan institute of chemical engineers*. Vol. 85. 2018. P. 248-256.
10. Gorin A.V., Rodichev A.Yu., Tokmakova M.A. Adhesive strength research of film antifriction coatings // *Materials today: proceedings*. Vol. 19. Part 5. 2019. P. 2329-23328.
11. Beloborodov S.M., Tsel'mer M.L., Modorskiy V.YA. Analiz i minimizatsiya avariynoy vibroaktivnosti vysokoskorostnykh rotorov // *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya*. 2017. №5. S. 53-55.
12. Goverdovskiy V.N., Zobov A.V. Sostoyanie i metody povysheniya kachestva vibrozashchity vertoletov // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie*. 2009. №4. S. 191-196.
13. Kiryukhin A.V., Mil'man O.O., Serezhkin L.N., Loshkareva E.A. Snizhenie vibratsii i shuma ot energeticheskikh ustanovok passivnymi i aktivnymi metodami // *Teploenergetika*. 2022. №11. S. 57-68.
14. Chichkov B.A. Sposob vibratsionnogo monitoringa rotornykh mashin // *Nauchnyy Vestnik MGTU GA* 2018 Tom 21. №1. S. 137-146.
15. Chernyshev V.I., Mayorov S.V., Fominova O.V. Razrabotka modeli upravlyayemoy rotornoy sistemy // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2017. №6. S. 128-135.
16. Jinfeng Huang, Lingli Cui, Jianyu Zhang. Tracking the location of bearing outer raceway defects using multidimensional synchronous signal fusion and tensor Rank-1 decomposition // *Measurement*. Vol. 198. 2022. 111137
17. Xiaomeng Li, Yi Wang, Guangyao Zhang, Baoping Tang, Yi Qin. Correlation warping radius tracking for condition monitoring of rolling bearings under varying operating conditions // *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 208. 2024. 110943.
18. Stupin A.V., Pudov D.I. Ekspluatatsionnye defekty podshipnikov kacheniya i ikh proyavlenie v vibrosig-nale // *Nauchnyy al'manakh*. 2016. №4-3(18). S. 197-204.
19. Bobtsov A.A., Boykov V.I., Bystrov S.V., Grigor'ev V.V., Karev P.V. Ispolnitel'nye ustroystva i sistemy dlya mikroporeshcheniy. SPb: Universitet ITMO, 2017. 134 s.
20. Brel' D.I., Gammel' R.A., Gordienko A.V. Primenenie «umnykh» struktur v stankostroenii // *Novye gori-zonty - 2022: Sbornik materialov IX Belorussko-Kitayskogo molodezhnogo innovatsionnogo foruma*. Minsk: BNTU. 2022. S. 85-87.

### Gorin Andrei Vladimirovich

Orel State University  
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Candidate of technical sciences  
E-mail: gorin57@mail.ru

### Roditheva Irina Vladimirovna

Orel State University  
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Postgraduate student  
E-mail: rodfox@yandex.ru

### Serebrennikov Artem Dmitrievich

Orel State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Student  
E-mail: silver93.57@mail.ru

### Vasiliev Kirill Vladimirovich

Orel State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Student  
E-mail: roddh@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-67-75

А.Ю. РОДИЧЕВ

## МЕТОД ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ СКОЛЬЖЕНИЯ БАЛАНСИРНОЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ

**Аннотация.** Рассмотрен метод предиктивного анализа остаточного ресурса подшипниковых узлов скольжения балансирной подвески автомобиля КамАЗ, состоящая из четырех этапов. Представлена структурно-функциональная схема работы подшипникового узла скольжения. Разработана схема структурно-функционального применения комплекса математических и программных моделей, основанная на модифицированном уравнении Рейнольдса и теории износа Дж. Ф. Арчарда. Показан алгоритм расчета ресурса подшипников скольжения балансирной подвески. Получена зависимость описывающая прогнозируемые сроки службы подшипника скольжения без корректировки и с учетом корректировки. Даны рекомендации по применению методики предиктивного анализа остаточного ресурса подшипниковых узлов скольжения балансирной подвески автомобиля КамАЗ.

**Ключевые слова:** метод, предиктивный анализ, подшипник скольжения, балансирная подвеска, износ

### Введение

Балансирная подвеска грузовых автомобилей КАМАЗ, представляют собой сложную инженерную конструкцию, работающую в условиях экстремальных нагрузок, вибраций и переменных температур. Одним из ключевых элементов, обеспечивающих надежность и долговечность таких систем, являются подшипники скольжения. Эти компоненты подвергаются интенсивному износу, что делает их одним из наиболее уязвимых звеньев в цепи, при эксплуатации транспортного средства. В связи с этим, актуальной задачей становится разработка и внедрение методов, позволяющих не только оценивать текущее состояние подшипников, но и прогнозировать их остаточный ресурс, тем самым предотвращая внезапные отказы и минимизируя затраты на обслуживание [1-4].

Метод предиктивного анализа остаточного ресурса подшипников скольжения балансирной подвески автомобиля КАМАЗ представляет собой комплексный подход, основанный на интеграции данных о рабочих условиях, материалах, нагрузках и износе. Она базируется на современных достижениях в области математического моделирования, машинного обучения, теории надежности и диагностики технических систем. Основная цель такого метода - переход от реактивного обслуживания, когда ремонт выполняется после возникновения неисправности, к проактивному, где каждое решение принимается на основе точных прогнозов и анализа данных [5-10].

Предиктивный анализ позволяет не только оценить текущее состояние подшипников, но и спрогнозировать момент, когда их износ достигнет критического уровня. Это становится возможным благодаря использованию данных, полученных от датчиков вибрации, температуры, давления и других параметров, а также благодаря применению алгоритмов, способных выявлять закономерности в изменении характеристик подшипников. Кроме того, метод учитывает такие факторы, как условия эксплуатации (дорожное покрытие, загрузка автомобиля, климатические условия), свойства материалов подшипников и особенности их работы в балансирной подвеске [11-12].

Внедрение метода предиктивного анализа остаточного ресурса подшипников скольжения в практику эксплуатации автомобилей КАМАЗ имеет значительный экономический и технический потенциал. Она позволяет снизить затраты на техническое обслуживание, избежать простоев транспортных средств, повысить безопасность эксплуатации и про



длить срок службы критически важных компонентов. Кроме того, такой подход способствует развитию культуры бережливого производства, где каждый элемент системы работает на максимуме своего ресурса, а решения принимаются на основе точных данных и прогнозов [13-15].

Таким образом, метод предиктивного анализа остаточного ресурса подшипников скольжения балансирной подвески автомобиля КАМАЗ представляет собой важный шаг в эволюции технического обслуживания и диагностики. Она сочетает в себе передовые технологии, научные знания и практический опыт, открывая новые возможности для повышения надежности и эффективности работы транспортных средств в условиях современных требований и вызовов [16-17].

### **Материал и методы**

Метод предиктивного анализа остаточного ресурса подшипниковых узлов скольжения балансирной подвески автомобиля КамАЗ можно представить в виде четырех основных этапов (рис. 1):

Первый этап – построение структурно-функциональной схемы диагностируемого объекта, включающая в себя выбор объекта диагностирования и оценку его условий эксплуатации.

Второй этап – генерация набора данных на основе комплекса математических и программных моделей, где проводят теоретические вычисления, например, граничных эксцентриситетов, вычисление функции зазора, расчет распределения давлений и несущей способности при граничных эксцентриситетах, оценка режимов трения, расчет коэффициентов износа, расчет интенсивности износа. На основании полученных теоретических значений параметров нагрузки, например, температуры, скорости, текущего уровня износа, текущей интенсивности износа и его накопленной величины формируют набор обучающих данных.

Третий этап – получение предиктивной модели с помощью методов машинного обучения. Получение предиктивной модели происходит за счет многократной обработки информации, полученной из набора данных, к которым применяются методы машинного обучения, например, с помощью искусственной нейронной сети.

Четвертый этап – результат предиктивной модели. Результат предиктивной модели, прошедший через фильтр выходных данных, в виде остаточного ресурса исследуемого объекта, достигается за счет получения реальных данных с датчиков от объекта диагностирования, которые попадают через фильтр входных данных, в блок предиктивной модели, где они обрабатываются.



Рисунок 1 – Схема предиктивного анализа остаточного ресурса подшипниковых узлов скольжения

Разработанный метод предиктивного анализа остаточного ресурса подшипниковых узлов скольжения балансирной подвески позволяет при необходимости ввести в предиктивную модель калибровку и корректировку.

### Теория

Построение структурно-функциональной схемы работы подшипникового узла скольжения в составе балансирной подвески автомобиля КАМАЗ заключается в визуализации его конструкции, функций и взаимодействия с другими элементами подвески (рис. 2), в результате которой проводится оценка анализа факторов, влияющих на его работу (геометрия подшипника, свойства материалов пары трения и смазочных материалов, а также условий эксплуатации).

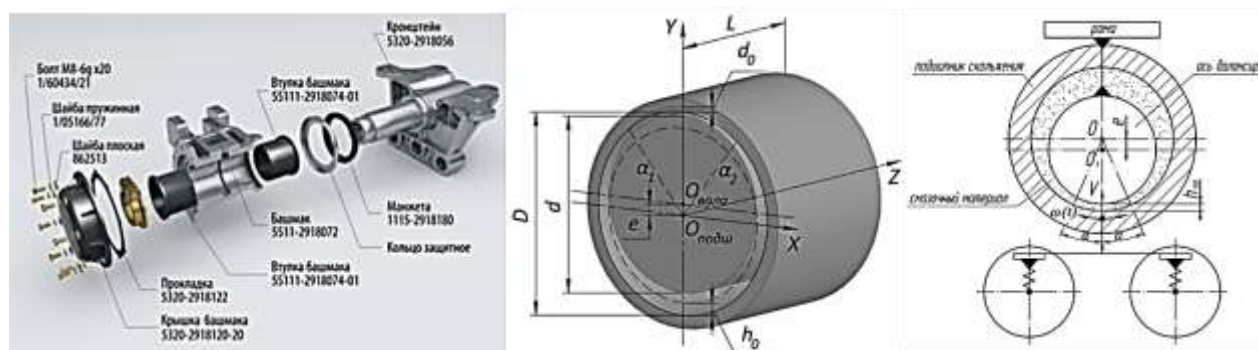


Рисунок 2 – Структурно-функциональной схемы работы подшипникового узла скольжения

В нашем случае подшипник скольжения балансирной подвески выполнен из антифрикционного материала – бронза БрОФ10-1. Подшипник скольжения установлен на оси балансира, которая выполнена из материала – Сталь 45ХН. В качестве смазочного материала разделяющего внутреннюю поверхность подшипника скольжения и оси балансира выступает масло ТАП 15В.

Формирование набора данных происходит на основе комплекса математической и программных моделей (рис. 3). Данный комплекс включает в себя расчет подшипника скольжения на основе модифицированного уравнения Рейнольдса, которое было получено путем совместного решения уравнений движения и неразрывности среды в цилиндрических координатах, оценку режимов трения при различных условиях эксплуатации, расчёт ресурса работы подшипника скольжения на основе теории износа Дж.Ф. Арчарда и его прогнозирование [17-21].

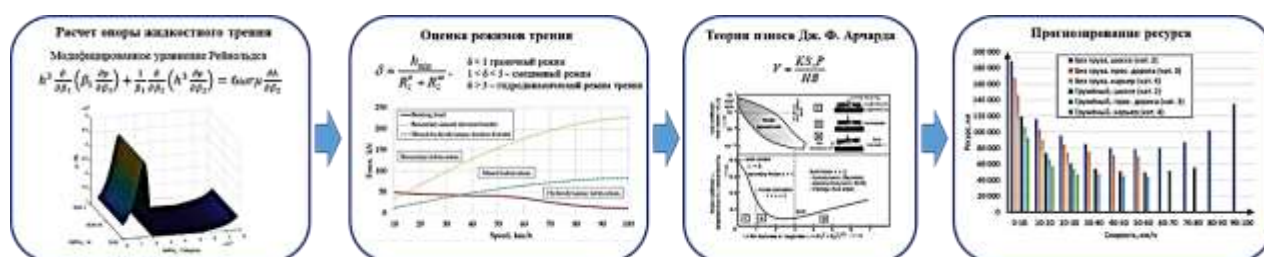


Рисунок 3 – Схема структурно-функционального применения комплекса математических и программных моделей

При расчете подшипника скольжения были использованы допущения, упрощающие решение уравнения Рейнольдса, для моделирования сложной динамики жидкостного слоя:

- поток жидкости между поверхностями подшипника считается ламинарным;
- смазочная жидкость считается несжимаемой;
- жидкость считается ньютоновской, где напряжение сдвига прямо пропорционально скорости деформации сдвига. Вязкость жидкости постоянна и не меняется с давлением или температурой;

- толщина жидкой пленки очень мала по сравнению с размерами поверхностей подшипника, что позволяет пренебречь градиентом давления по толщине пленки;
- условие прилипания: скорость жидкости на поверхностях подшипника предполагается равной скорости самих поверхностей;
- эффекты инерции и объемных сил (таких как гравитация) считаются пренебрежимо малыми по сравнению с вязкими силами;
- изотермические условия: температура жидкости предполагается постоянной, что означает отсутствие генерации или передачи тепла внутри жидкой пленки;
- поверхности подшипника считаются идеально гладкими, без шероховатостей или неровностей.

$$h^3 \frac{\partial}{\partial \beta_1} \left( \beta_1 \frac{\partial p}{\partial \beta_1} \right) + \frac{1}{\beta_1} \frac{\partial}{\partial \beta_2} \left( h^3 \frac{\partial p}{\partial \beta_2} \right) = \mu u_1 6h - \mu u_2 6 \frac{\partial h}{\partial \beta_2} - \mu 12 u_3 \beta_1; \quad (1)$$

$$u_2 = \omega r + V_1 \cos(\beta_2) - V_2 \sin(\beta_2), \quad (2)$$

где  $\omega$  – угловая скорость;

$\mu$  – вязкость смазочного вещества;

$r$  – радиус вала;

$\beta_1$  и  $\beta_2$  – радиальная и угловая координаты соответственно;

$h$  – функция зазора;

$V_1$  и  $V_2$  – скорость движения центра балансира в проекции на ось балансирной подвески;

$p$  – давление смазочного вещества.

Представленная математическая модель цилиндрического подшипника была реализована в программной среде разработки Matlab. Для решения уравнения Рейнольдса использовался численный метод – метод конечных разностей. Расчеты проводились для опоры со следующими параметрами: диаметр вала  $d = 88$  мм, длина подшипника  $L = 80$  мм, скорость перемещения подшипника скольжения  $\omega$  варьировалась от 0 рад/с до 40 град/с, средний зазор смазочного слоя  $h_0$  был также изменяемым параметром и изменялся от 170 мкм до 440 мкм, эксцентриситет положения ротора  $e = 0,5 \dots 0,99$ , в качестве смазочной жидкости использовалось трансмиссионное масло ТАП-15В с динамической вязкостью  $\mu = 0,142$  Па·с.

Оценку режимов трения в подшипниках скольжения балансирной подвеске проводится на основании расчётного значения коэффициента  $\delta$  режима смазки:

$$\delta = \frac{h_{\min}}{R_z^e + R_z^u}, \quad (3)$$

где  $h_{\min}$  – минимальный радиальный зазор между подшипником скольжения с осью балансира;

$R_z^e = 8$  мкм – шероховатость внутренней поверхности подшипника скольжения;

$R_z^u = 6,3$  мкм – шероховатость поверхности оси балансира.

Величина  $\delta$  характеризует существующий на поверхностях подшипника вид режима трения: при  $\delta < 1$  действует граничный режим, при  $1 < \delta < 3$  – смешанный режим, при  $\delta > 3$  – гидродинамический режим трения. Таким образом, для балансирной подвески автомобиля КамАЗ, характерна работа в условии, граничного режима трения ( $\delta = 0,42$  при  $h_{\min} = 6$  мкм).

Для расчёта ресурса подшипников скольжения балансирной подвески была выбрана теория износа Дж. Ф. Арчарда. Данная модель износа наиболее часто используется для расчёта износа различных материалов и характеризуется линейной, объёмной или массовой скоростью износа. Объёмный износ рассчитывается с помощью следующего соотношения:

$$V_{\text{изн}} = \frac{K \cdot S_n \cdot P}{H B}, \quad (4)$$

где  $K$  – безразмерный коэффициент износа;

$S_n$  – путь трения за 1 час, мм/ч;

$P$  – суммарная нагрузка, кгс;

$HV$  – твердость материала втулки, МПа.

Таким образом, общий ресурс подшипника находится по соотношению:

$$L_{h-i} = \frac{w}{I_{h-i}} \text{ [час]}; \quad (5)$$

$$S = \sum L_{h-i} \frac{\sum V_i t_i}{\sum t_i} \text{ [км]}, \quad (6)$$

где  $w$  – предельная величина износа, мм;

$V_i$  – скорость автомобиля на  $i$  – ом участке, км/ч;

$t_i$  – время работы на  $i$  – ом участке, час;

$I_{h-i}$  – интенсивность изнашивания на  $i$  – ом участке, мм/ч.

Алгоритм расчета ресурса подшипников скольжения балансирной подвески автомобиля КамАЗ представлен в виде структурной схемы на рисунке 4.

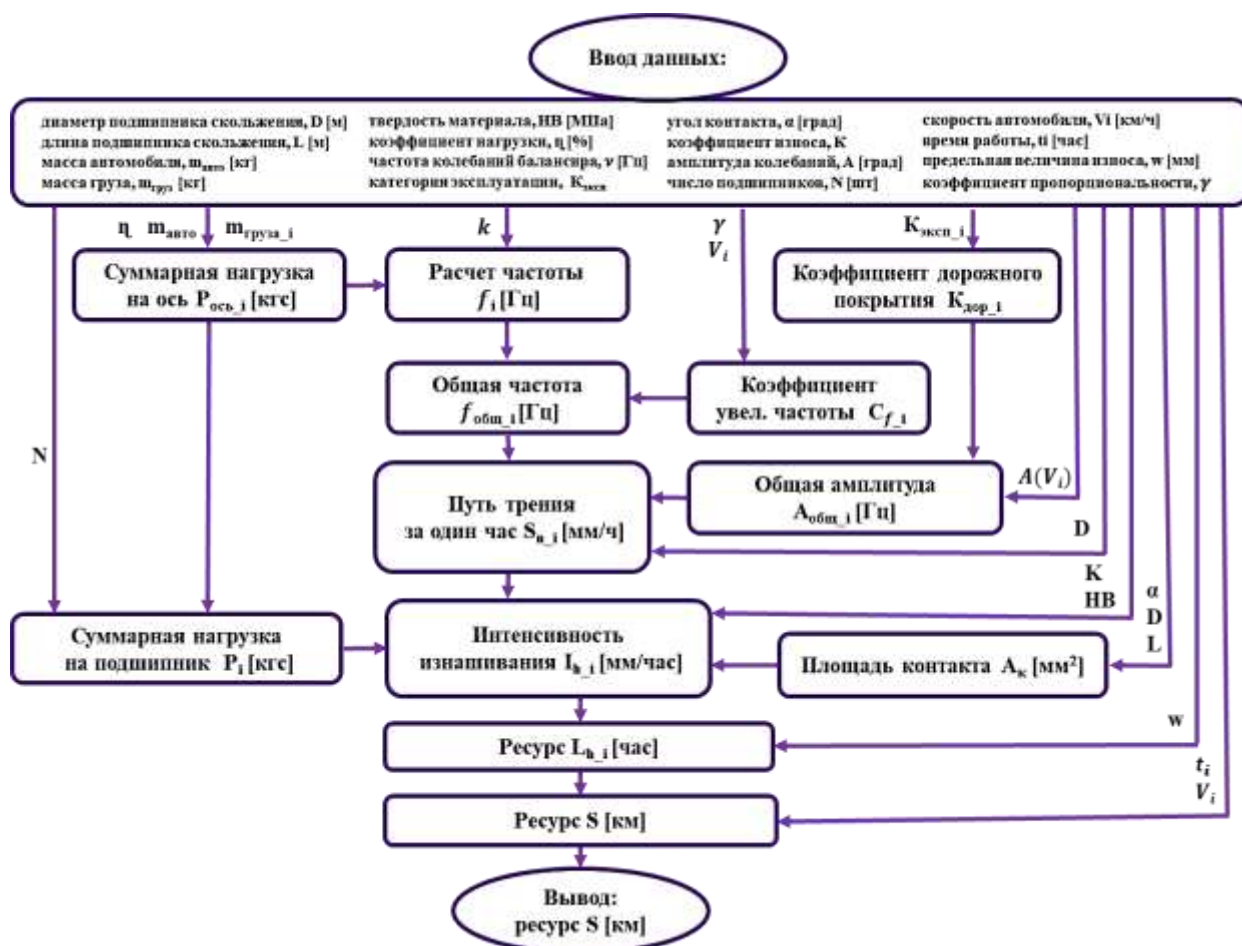


Рисунок 4 – Алгоритм расчета ресурса подшипников скольжения балансирной подвески

Построение предиктивной модели происходит с помощью методов машинного обучения, происходит за счет многократной обработки информации, полученной из набора данных, к которым применяют методы машинного обучения, с помощью искусственной нейронной сети.

Значения параметров в соответствии с уравнениями (5) и (6) были рассчитаны для всех диапазонов изменения параметров, характеризующих нагрузку. Скорость транспортного средства  $V$  варьировалась от 5 до 100 км/ч с шагом 5 км/ч;  $K_{дор}$  – коэффициент дорожного покрытия варьировался от 1 до 1,7 с шагом 0,05. Полученный таким образом набор данных включал 4500 обучающих примеров.



Искусственная нейронная сеть была обучена на полученном наборе данных в соответствии с общей методологией. Обучающий набор данных был случайным образом разделен на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 70%, 15% и 15% соответственно. В качестве показателя обучения использовалась среднеквадратичная ошибка. Обучение проводилось в течение 1000 эпох. После обучения коэффициент регрессионного определения принял значение  $R^2=0,998$ .

Результат работы предиктивной модели, заключается в получении реальных данных в виде остаточного ресурса исследуемого объекта, за счет полученной информации от объекта диагностирования прошедшей через предиктивную модель [21].

Параметры  $K_{дор}$  и  $V$ , а также текущее значение величины износа  $w$  являются входными данными обученной модели искусственной нейронной сети. Значения ресурса  $L_h(S)$  и скорости износа  $I$  являются выходными данными модели. Общая структура процедуры синтеза и дальнейшей эксплуатации такой модели от числовых данных до расчетного модуля, готового к эксплуатации на борту транспортного средства, показана на рисунке 5.

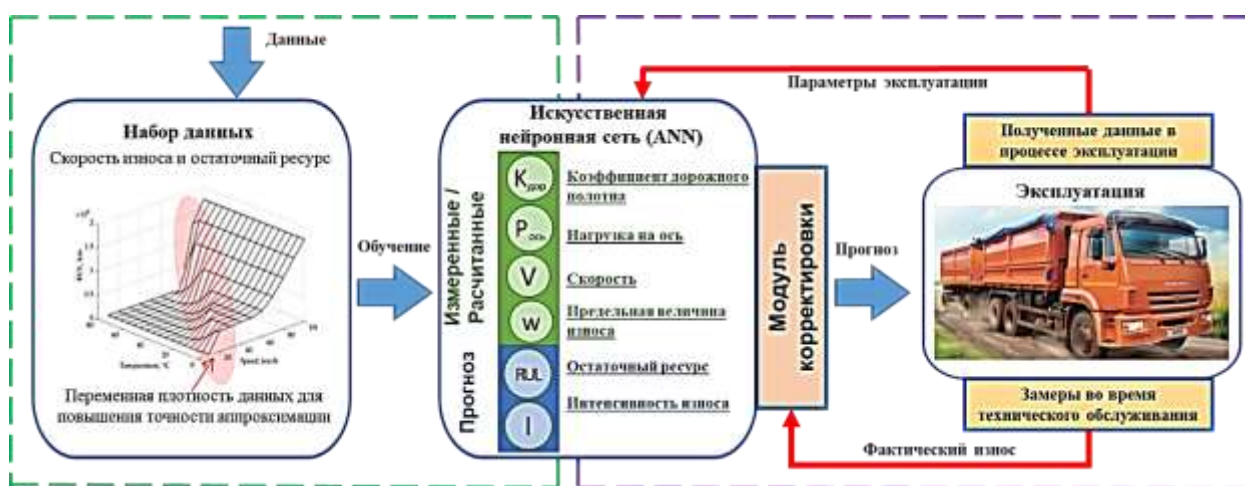


Рисунок 5 – Структура функционирования предиктивной модели

### Результаты и обсуждение

Полученная модель позволяет оценить исправность подшипника с учетом изменяющихся условий эксплуатации транспортного средства в процессе его эксплуатации до следующего технического обслуживания (рис. 6).

Коррекция прогнозов предиктивной модели осуществляется линейным способом, поскольку установившийся режим износа составляет основную продолжительность срока службы подшипника. В этом случае выходные данные модели ANN подвергаются процедуре коррекции следующим образом:

$$[I_h]_{k+1} = [I_h]_k \cdot \left( 1 - \frac{w^{k+1} - w}{w} \right), \quad (7)$$

$$[RUL]_{k+1} = [RUL]_k \cdot \left( 1 - \frac{w^{k+1} - w}{w} \right), \quad (8)$$

где  $k$  – серийный номер выполняемой коррекции данных;

$w$  – расчетное значение величины износа;

$w_{0k+1}$  – величина фактического износа, измеренного ввремя ТО.

Таким образом ресурс работы подшипника скольжения подвески балансира до величины износа  $w = 1$  мм, соответствует статистическим данным по эксплуатации транспортных средств на рассматриваемом маршруте, где их обычный срок работы составляет от 28 до 35 тыс. км пробега. Кроме того, на начальных этапах эксплуатации наблюдается более интен-

сивное снижение RUL, что характеризует этап обкатки. За этим следует снижение интенсивности износа до почти равномерного, что отражает принятое предположение о преобладании установившегося режима износа.

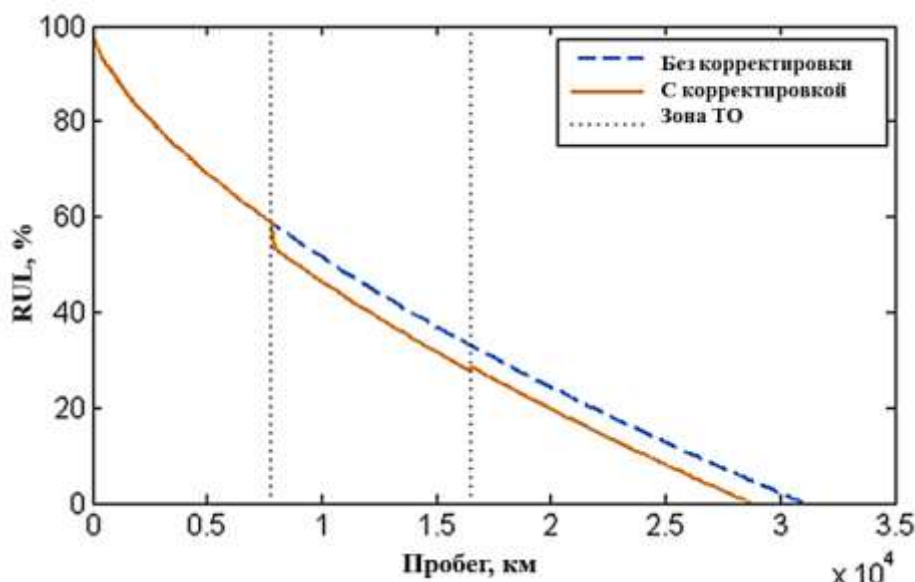


Рисунок 6 – Прогнозируемые сроки службы подшипника скольжения

### Выводы

На основании полученных результатов возможно сделать следующие выводы;

- прогнозируемый ресурс подшипника без учета коррекции показаний модели более чем на 10 % выше, чем скорректированный с учетом фактических эксплуатационных данных;
- вторая корректировка оказывает меньшее влияние на показания модели, что указывает на повышение точности прогнозирования за счет первой корректировки;
- при изменении режимов работы системы, в частности, возможности работы в режимах трения, отличных от граничных, представленный подход также эффективен;
- данный эффект связан с тем, что коррекции подлежат только выходные данные модели, в то время как соответствующие изменения учитываются один раз на этапе ее синтеза и не требуют дальнейшей коррекции.

Таким образом представленный метод позволяет более эффективно спрогнозировать остаточный ресурс работы подшипникового узла скольжения балансирной подвески автомобиля КамАЗ

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снарский С.В., Гафиятуллин А.А., Кулаков А.Т. Методика определения остаточного ресурса автомобильного дизельного двигателя при бортовом диагностировании // Научная мысль. 2017. №3. С. 210-221.
2. Айзензон А.Е., Горностаев А.И., Живов С.Б. Методика прогнозирования остаточного ресурса подшипниковых узлов КШМ двигателя КАМАЗ-740 с применением тестового вибрационного метода диагностирования // Двигателестроение. 2000. №4(202). С. 22-24.
3. Кириллов А.Г., Ратников А.С., Кокарев О.П. Методика оперативного прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы // Вестник гражданских инженеров. 2020. №1(78). С. 168-172. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-168-172.
4. Кушнерев В.О., Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В. Анализ исследований износостойкости подшипниковых узлов скольжения // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. 2020. С. 41-42.
5. Терентьев В.Ф., Еркаев Н.В., Щелканов С.И. Работоспособность подшипниковых узлов скольжения в условиях граничной смазки. Новосибирск: Наука, 2006. 219 с.
6. Ермохин А.В., Мокроусов А.С., Габдрашитов И.Р. Разработка методики прогнозирования остаточного ресурса подшипниковых узлов газотурбинных двигателей средств энергоснабжения // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2020. №3-4(141-142). С. 72-78.

7. Коченов В.А., Авдеева Е.А., Меженина Е.И. Самоорганизация трения и изнашивания в подшипниковых узлах скольжения // Вестник машиностроения. 2023. Т. 102. №12. С. 1033-1038. DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-12-1033-1038.
8. Мамбетов Э.М., Перекрестов А.П. Перспективный способ центровки и повышения надежности подшипниковых узлов скольжения судовых валопроводов // Морские интеллектуальные технологии. 2019. №1-4(43). С. 70-74.
9. Кравченко И.Н., Зорин В.А., Пучин Е.А., Бондарева Г.Н. Основы надежности машин: Учебное пособие для вузов. Москва, 2007. 484 с.
10. Ременцов А.Н., Фролов Ю.Н., Воронов В.П. Системы, технологии и организация услуг в автомобильном сервисе: учебник. М.: Академия, 2013. 480 с.
11. Гаврилов В.И. Повышение безотказности транспортных средств при использовании в сельском хозяйстве за счет диагностирования подвески (на примере автомобиля КАМАЗ): Автореф. Волгоград, 2010. 20 с.
12. Машков Е.А. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей КамАЗ-5320, 53211, 53212, 53213, 5410, 54112, 55111, 55102. Изд-во «Третий Рим», 1997. 88 с.
13. Чернец М.В., Клименко Л.П., Пашечко М.И., Невчас А.В. Трибомеханика, триботехника, триботехнологии: Механика трибоконтактного взаимодействия при скольжении // Николаев: НГТУ им. Петра Могилы, 2006. 476 с.
14. Дроздов Ю.Н., Юдин Е.Г., Белов А.И. Прикладная трибология (трение, износ, смазка). М.: Эко-Пресс, 2010. 604 с.
15. Кутыков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия. М.: Машиностроение, 1976. 152 с.
16. Руководство по ремонту и техническому обслуживанию автомобилей КамАЗ // М.: За рулем, 2001. 289 с.
17. Токмаков Н.В., Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Сытин А.В., Токмакова М.А. Контроль и восстановление подшипников скольжения при сервисном обслуживании автомобильной и дорожно-строительной техники // Мир транспорта и технологических машин. Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. 2018. №3(62). С. 19-27.
18. Kazakov Y.N., Kornaev A.V., Shutin D.V., Li S., Savin L.A. Active Fluid-Film Bearing With Deep Q-Network Agent-Based Control System. Vol. 144. №8. 2022. doi: 10.1115/1.4053776/1135199.
19. Kazakov Y.N., Kornaev A.V., Shutin D.V., Kornaeva E.P., Savin L.A. Reducing Rotor Vibrations in Active Conical Fluid Film Bearings with Controllable Gap. Vol. 18. №5. 2022. P. 863-873. doi: 10.20537/ND221226.
20. Kornaev A.V., Kornaev N.V., Kornaeva E.P., Savin L.A. Application of Artificial Neural Networks to Calculation of Oil Film Reaction Forces and Dynamics of Rotors on Journal Bearings. Vol. 2017. 2017. doi: 10.1155/2017/9196701.
21. Nicoletti R. Comparison between a meshless method and the finite difference method for solving the reynolds equation in finite bearings. Vol. 135. №4. 2013. doi: 10.1115/1.4024752/377784.
22. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных / под редакцией В.П. Боровикова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Горячая линия - Телеком. 2008. 392 с.

**Родичев Алексей Юрьевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

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

E-mail: rodfox@yandex.ru

A.YU. RODICHEV

## METHOD OF PREDICTIVE ANALYSIS OF THE RESIDUAL LIFE OF BEARING UNITS OF SLIDING BALANCE SUSPENSION OF THE KAMAZ VEHICLE

**Abstract.** The paper considers a method of predictive analysis of the residual life of sliding bearing units of the balance beam suspension of the KAMAZ vehicle, consisting of four stages. A structural and functional diagram of the sliding bearing unit operation is presented. A diagram of the structural and functional application of a complex of mathematical and software models based on the modified Reynolds equation and the wear theory of J. F. Archard is developed. An algorithm for calculating the life of sliding bearings of the balance beam suspension is shown. A dependence is obtained describing the predicted service life of the sliding bearing without adjustment and taking into account the adjustment. Recommendations are given for the application of the method of predictive analysis of the residual life of sliding bearing units of the balance beam suspension of the KAMAZ vehicle.

**Keywords:** methodology, predictive analysis, sliding bearing, balancing suspension, wear

## BIBLIOGRAPHY

1. Snarskiy S.V., Gafiyatullin A.A., Kulakov A.T. Metodika opredeleniya ostatochnogo resursa avtomobil'nogo dizel'nogo dvigatelya pri bortovom diagnostirovani // Nauchnaya mysl'. 2017. №3. S. 210-221.
2. Ayzentson A.E., Gornostaev A.I., Zhivov S.B. Metodika prognozirovaniya ostatochnogo resursa podshipnikovykh uzlov KSHM dvigatelya KAMAZ-740 s primeneniem testovogo vibratsionnogo metoda diagnostirovaniya // Dvigatelsestroenie. 2000. №4(202). S. 22-24.
3. Kirillov A.G., Ratnikov A.S., Kokarev O.P. Metodika operativnogo prognozirovaniya ostatochnogo resursa elementov tormoznoy sistemy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2020. №1(78). S. 168-172. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-168-172.
4. Kushnerev V.O., Sergeevichev A.V., Sergeevichev V.V. Analiz issledovaniy iznosostoykosti podshipnikovykh uzlov skol'zheniya // Aktual'nye voprosy transporta v lesnom komplekse: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet imeni S.M. Kirova. 2020. S. 41-42.
5. Terent'ev V.F., Erkaev N.V., Shchelkanov S.I. Rabotosposobnost' podshipnikovykh uzlov skol'zheniya v usloviyakh granichnoy smazki. Novosibirsk: Nauka, 2006. 219 s.
6. Ermokhin A.V., Mokrousov A.S., Gabdrashitov I.R. Razrabotka metodiki prognozirovaniya ostatochnogo resursa pod shipnikovykh uzlov gazoturbinnikh dvigateley sredstv energosnabzheniya // Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu. 2020. №3-4(141-142). S. 72-78.
7. Kochenov V.A., Avdeeva E.A., Mezhenina E.I. Samoorganizatsiya treniya i iznashivaniya v podshipnikovykh uzlov skol'zheniya // Vestnik mashinostroeniya. 2023. T. 102. №12. S. 1033-1038. DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-12-1033-1038.
8. Mambetov E.M., Perekrestov A.P. Perspektivnyy sposob tsentrovki i povysheniya nadezhnosti podshipnikovykh uzlov skol'zheniya sudovykh valoprovodov // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. №1-4(43). S. 70-74.
9. Kravchenko I.N., Zorin V.A., Puchin E.A., Bondareva G.N. Osnovy nadezhnosti mashin: Uchebnoe posobie dlya vuzov. Moskva, 2007. 484 s.
10. Rementsov A.N., Frolov YU.N., Voronov V.P. Sistemy, tekhnologii i organizatsiya uslug v avtomobil'nom servise: uchebnik. M.: Akademiya, 2013. 480 s.
11. Gavrilov V.I. Povyshenie bezotkaznosti transportnykh sredstv pri ispol'zovanii v sel'skom khozyaystve za schet diagnostirovaniya podveski (na primere avtomobilya KAMAZ): Avtoref. Volgograd, 2010. 20 s.
12. Mashkov E.A. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobiley KamAZ-5320, 53211, 53212, 53213, 5410, 54112, 55111, 55102. Izd-vo "Tretiy Rim", 1997. 88 s.
13. Chernets M.V., Klimenko L.P., Pashechko M.I., Nevchas A.B. Tribomekhanika, tribotekhnika, tribotekhnologii: Mekhanika tribokontaktного vzaimodeystviya pri skol'zhenii // Nikolaev: NGTU im. Petra Mogily, 2006. 476 s.
14. Drozdov YU.N., YUdin E.G., Belov A.I. Prikladnaya tribologiya (trenie, iznos, smazka). M.: EkoPress, 2010. 604 s.
15. Kut'kov A.A. Iznosostoykie i antifriktsionnye pokrytiya. M.: Mashinostroenie, 1976. 152 s.
16. Rukovodstvo po remontu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu avtomobiley KamAZ // M.: Za rulem, 2001. 289 s.
17. Tokmakov N.V., Rodichev A.YU., Polyakov R.N., Sytin A.V., Tokmakova M.A. Kontrol' i vosstanovlenie podshipnikov skol'zheniya pri servisnom obsluzhivanii avtomobil'noy i dorozhno-stroitel'noy tekhniki // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. 2018. №3(62). S. 19-27.
18. Kazakov Y.N., Kornaev A.V., Shutin D.V., Li S., Savin L.A. Active Fluid-Film Bearing With Deep Q-Network Agent-Based Control System. Vol. 144. №8. 2022. doi: 10.1115/1.4053776/1135199.
19. Kazakov Y.N., Kornaev A.V., Shutin D.V., Kornaeva E.P., Savin L.A. Reducing Rotor Vibrations in Active Conical Fluid Film Bearings with Controllable Gap. Vol. 18. №5. 2022. R. 863-873. doi: 10.20537/ND221226.
20. Kornaev A.V., Kornaev N.V., Kornaeva E.P., Savin L.A. Application of Artificial Neural Networks to Calculation of Oil Film Reaction Forces and Dynamics of Rotors on Journal Bearings. Vol. 2017. 2017. doi: 10.1155/2017/9196701.
21. Nicoletti R. Comparison between a meshless method and the finite difference method for solving the reynolds equation in finite bearings. Vol. 135. №4. 2013. doi: 10.1115/1.4024752/377784.
22. Neyronnye seti. STATISTICA Neural Networks: Metodologiya i tekhnologii sovremennogo analiza dannykh / pod redaktsiyey V.P. Borovikova. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Goryachaya liniya - Telekom. 2008. 392 s.

**Rodichev Aleksey Yurievich**

Orel State University

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

Candidate of Technical Sciences

E-mail: rodfox@yandex.ru



Научная статья

УДК 629.33

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-76-82

И.Ф. ДЬЯКОВ, Ю.В. МОИСЕЕВ, В.И. ДЬЯКОВ

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОДРЕССОРЕННОЙ МАССЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

**Аннотация.** Изложен метод параметрического анализа подрессоренной массы транспортного средства, дана расчетная математическая модель. Сформулированы цель и задачи параметрического анализа подрессоренной массы на основе взаимной увязки требований прочности. Расчетный метод рассмотрен на конкретном транспортном средстве. Даны результаты анализа конструкции рамы транспортного средства.

**Ключевые слова:** анализ, подрессоренная масса, рама, геометрические и нагрузочные параметры, прямое и обратное вычисление

### Введение

При анализе массы несущей системы конструкции транспортного средства обычно проводится сравнение с существующими прототипами. Цель работы – оптимальное согласование параметров рамы с подрессоренными массами. Прямое сопоставление величин относительных масс и ее размещенных агрегатов может служить достаточным обоснованием о массовом совершенстве конструкции рамы или агрегатов, размещаемых на раме. Поскольку сравниваемые объекты однотипных транспортных средств могут отличаться по различным конструктивным, технологическим и геометрическим параметрам, то сравнение двух похожих несущих элементов становится достаточным в том случае, если они приведены к общим параметрам. В этом случае можно утверждать, что получившиеся отличия в величинах масс объясняются или характеристиками конструктивных материалов, или отличиями технологии изготовления [1-10]. При параметрическом анализе массы конструкции нет необходимости производить полный проектировочный расчет, поскольку изменение массы можно оценить по изменениям отдельных геометрических и конструктивных параметров [11-18]. Параметрический анализ подрессоренной массы транспортного средства является эффективным в том случае, когда необходимо проектировать новую конструкцию при наличии некоторого сходного прототипа. Для проведения параметрического анализа необходимо иметь зависимости масс такой же конструкции от величин геометрических и нагрузочных параметров. Получение таких зависимостей можно представить как сумму масс набора элементов, отличающихся по геометрическим и нагрузочным параметрам.

### Материал и методы

Для определения массы проектируемого лонжерона с переменной жесткостью (рис. 1), на котором продольно расположены агрегаты с различной массой  $m = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5)$  – где масса радиатора, двигателя, раздаточной коробки и коробки передач, кабины с облицовкой, кузова с грузом, соответственно). При выполнении расчетов половины массы агрегатов рассматриваются на одну сторону лонжерона

Массу рамы транспортного средства определяют по следующей формуле

$$m_p = \int_0^l \frac{\gamma}{[\sigma]} \frac{M_{\text{э.д.}}(l, z)}{h_z(z)} dl, \quad (1)$$

где  $\frac{\gamma}{[\sigma]}$  – удельная прочность – рамы (нагрузка, приходящаяся на единицу длины рамы);

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение;

$\gamma$  – удельная масса рамы;

$M_{\Sigma,и}(l, z)$  – эквивалентный суммарный изгибающий и крутящий расчетный момент рамы относительно оси координат  $(l, z)$ , в зависимости от конструктивного расположения агрегата;

$h_z(z)$  – средняя высота рамы в рассматриваемом участке  $(l)$ ;

$l$  – длина рамы.

### Теория и расчет

Выражение (1) можно использовать в прямом и обратном вычислении. При прямом, когда известны массы агрегатов, располагаемых на раме, находим параметры рамы, если известны её параметры, и определяем массы агрегатов, которые соответствуют по несущей способности элементам рамы. Используя прямую задачу следует учесть, что лонжерон швеллерного типа изготавливается отдельными закрытыми и сужениями участков в разгрузочных местах, то при расчете рамы например, для УАЗ-3303 учитываются относительными значениями параметров и средней высоты лонжерона. При этом средняя высота рамы швеллерного типа выражена  $h_z = a_o \rho(x) \bar{c}$ , где  $a_o$  – коэффициент, учитывающий переменность высоты рамы ( $a_o = 0.6 \pm 0.7$ );  $\rho(l)$ ,  $\delta$  – относительная длина участка  $(l(c_i) / l(c_j))$ , длина рамы при  $i$ -й к  $j$ -й жесткости;  $\delta$  – толщина местного деформирования рамы

В первом приближении изгибающий момент, имеющей зоны сужения и расширения по длине может быть представлен

$$M_{и} = (1 - \lambda) n_p \frac{m}{m_{п.н}} \int_0^{l_1} \int_0^{l_2} \rho(l_i) dl_i^2,$$

где  $\lambda$  – поправочный коэффициент, зависящий от удельной массы агрегатов равный  $m / m_{п.н}$  ( $m_{п.н}$  – масса рамы прототипа);

$n_p$  – расчетная коэффициент перегрузки рамы;

$s_{пм}$  – площадь лонжерона.

Расчетный коэффициент перегрузки находят из отношений энергозатрат на выполнение транспортной работы к предельному значению энергии двигателя в виде

$$\eta_p = \frac{\{[(m_{п.и} + m_r) j L \beta] + [(F_{f3м} + F_{fпм}) r_k \pm F_n r_{кп} + (F_w \pm F_h + F_j) h_g]\} \cdot k'_п}{P_e g_e \xi_{тдв} H_Q k_п}, \quad (3) \quad < 1$$

где  $m_{п.и}$  – снаряженная масса транспортного средства;

$m_r$  – масса перевозимого груза;

$j$  – ускорения движения транспортного средства;

$\beta$  – коэффициент использования пробега;

$F_{f3м}$  – силы сопротивления качению колеса заднего моста;

$F_{fпм}$  – сила сопротивления качению колеса переднего моста;

$r_k$  – радиус качения колеса;

$F_{тп}$  – сила сопротивления качению прицепа;

$r_{кп}$  – радиус качения колеса прицепа;

$F_n$  – сила сопротивления качению колеса прицепа;

$r_{кп}$  – радиус качения колеса прицепа;

$F_w$  – аэродинамическая сила сопротивления движению;

сила сопротивления подъема;

$F_j$  – сила инерции движущейся массы;

$h_g$  – высота центра тяжести транспортного средства;

$k_n'$  – коэффициент перевода Н·м в кВт·ч

Значение энергозатрат двигателя выражено в виде

$$J(P_e) = P_e g_e \xi t_{дв} H_Q k_n,$$

где  $P_e$  – эффективная мощность двигателя;

$g_e$  – удельный расход топлива;

$\xi$  – коэффициент демпфирования, учитывающий все виды неупругих потерь энергии при колебаниях двигателя;

$t_{дв} = L / V$  время работы двигателя;

$L$  – пробег;

$V$  – скорость движения;

$H_Q$  – удельная теплотворная способность топлива;

$k_n$  – коэффициент перевода ккал в кВт·ч.

Для рамы с переменной шириной ( $b_i$ ) функции эквивалентного момента имеет следующий вид

$$M_{э.и} = \frac{1}{m} \left[ (m_1 - m_p) \mu_1 \xi_1 l_1(c_i) + (m_2 + m_a) l_2(c_i) - m_3 \mu_2 l_3(c_j) \right] - \mu_2 [V_T \gamma_T l_4(c_j) + \\ + v_{н.р.} \frac{m_4}{q} l_5(c_j) + v_{с.р} \frac{m_4}{q} l_6(c_j) - v_{з.р} \frac{m_4}{q} l_7(c_j)], \quad (2)$$

где  $m_p$  – масса радиатора;

$\mu_i$  – импульсы силы, учитывающие разгрузку или сжатие лонжерона, передаваемой амортизаторами и кронштейнами рессор переднего и заднего моста при движении по неровностям дороги или при неуравновешенности дисков колес ( $\mu_i = m_{п.з} g$ ,  $m_{п.}$ ,  $m_3$  – масса переднего и заднего моста);

$\varsigma = b_1 / b_2$  – коэффициент, учитывающий сужение рамы;

$b_1$  – длина опоры крепления двигателя к раме;

$b_2$  – ширина расширенной части рамы;

$l_i(c_{i,j})$  – длины плеч от действующей силы до точки опоры при соответствующей жесткости используемых плеч;

$m_a$  – масса аккумуляторов;

$V_T$  – объемная масса топлива в баке;

$\gamma_T$  – удельная масса топлива;

$q$  – грузоподъемность транспортного средства, приходящаяся на разные плечи относительно кронштейнов переднего и заднего опоры задней рессоры;

$v_{н.р.} = 0,2$ ;  $v_{с.р.} = 0,62$ ;  $v_{з.р.} = 0,18$  – нагрузки приходящиеся на часть рамы задней рессоры от переднего кронштейна до переднего стенки кузова, следующий коэффициент между опорами рессор и задней части от заднего кронштейна до задней части лонжерона.

Члены в квадратных скобках в выражении (2) учитывает вид деформации рамы при импульсном ударе последовательно действующей от переднего и заднего мостов от опорных точек крепления подвески рамы  $i$ -го моста по оси  $z$ . Часть импульсного удара на раму воспринимают рессоры и амортизаторы, от которых зависят жесткостные характеристики. Функция распределения изгибающего момента от масс, расположенных последовательно на раме рассматривается по закону параболы, распределения от крутящего момента экспонен-

циальному закону. На основе параметрической зависимости (2) можно производить пересчет относительной массы ( $m_{pm}$ ) проектируемой конструкции рамы исходя из имеющегося прототипа. Если считать, что для прототипа известны все составляющие компоненты и все необходимые физические и геометрические параметры (рис. 1), то значения коэффициентов соответствующие продольному изгибу рамы легко подсчитываются.

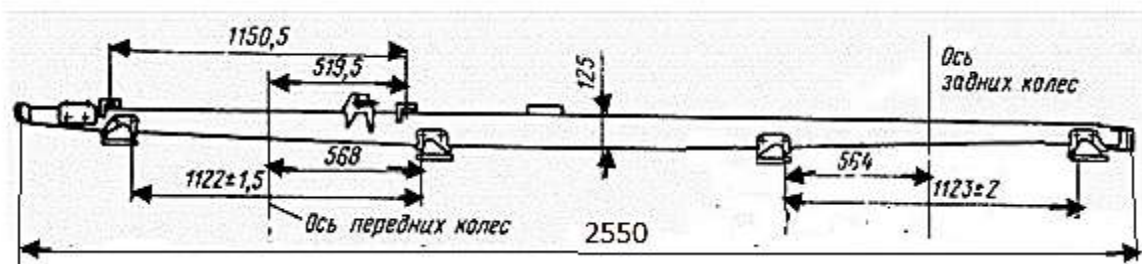


Рисунок 1 – Используемая конструкция лонжерона рамы автомобиля VAZ-3303

При проектировании новой рамы, отличающейся от существующей прототипа приращениями ее конструктивных параметров:  $\Delta n_p, \Delta \lambda, \Delta m_o, \Delta a_o, \Delta \xi, \Delta q$  и геометрических размеров может быть определено по формуле Тейлора

$$\Delta m_{pm} = \frac{\partial m_{pm}}{\partial n_p} \Delta n_p + \frac{\partial m_{pm}}{\partial \lambda} \Delta \lambda + \frac{\partial^2 m_{pm}}{\partial \lambda^2} \frac{\Delta \lambda^2}{2!} + \dots + \frac{\partial m_{pm}}{\partial m_o} \Delta m_o + \frac{\partial m_{pm}}{\partial m_o} \frac{\Delta m_o}{2!} + \dots + \frac{\partial m_{pm}}{\partial q} \Delta q + \dots \quad (3)$$

Представление относительной массы рамы в виде параметрических зависимостей позволяет определить входящие в формулу (3) частные производные относительной массы по параметрам, например:

$$\frac{\partial m_{pm}}{\partial n_p} = \frac{m_{pm}}{n_p}. \quad (4)$$

Аналогично для других частных производных имеющих экспоненциальный закон в первом случае и параболический – во втором имеем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial m_{pm}}{\partial \lambda} &= \frac{1}{\lambda} \left[ \frac{3}{2} \bar{m}_1 + \bar{m}_2 + \frac{1}{2} \bar{m}_3 \right]; \\ \frac{\partial^2 m_{pm}}{\partial \lambda^2} &= \frac{1}{\lambda^2} \left[ \frac{3}{4} \bar{m}_1 - \frac{1}{4} \bar{m}_3 \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь  $\bar{m}_1, \bar{m}_2, \bar{m}_3$  соответствуют относительным массам агрегатов. Вторые производные в разложении (4) учитываются в том случае, если приращения компоновочных параметров  $\Delta n_p, \Delta \lambda, \Delta \xi$ , по сравнению с исходными, значительные. Другие частные производные, входящие в разложение (3) определяются по формулам (4), (5). Окончательная формула при использовании приращенной массы агрегатов относительно массы конструкции рамы имеет вид:

$$\begin{aligned} \Delta m_{pm} &= m_1 \left[ \frac{\Delta n_p}{n_p} + \frac{1}{4} \frac{\Delta \lambda}{\lambda} - \frac{3}{8} \left( \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \right)^2 + \frac{3}{5} \frac{\Delta b}{b} + \frac{1}{5} \frac{\Delta \mu}{\mu} - \frac{1}{6} \left( \frac{\Delta \mu}{\mu} \right)^2 + \frac{1}{8} \frac{\Delta m_{кп}}{m_{кп}} + \dots \right] + \\ &+ m_2 \frac{\Delta m_a}{m_a} + m_3 \left[ \Delta \frac{m_r}{q} + \frac{1}{7} \frac{\Delta m_{o.6}}{m_{o.6}} - \left( \frac{\Delta m_{o.6}}{m_{o.6}} \right)^2 + \frac{3}{5} \frac{\Delta v_{п.р}}{v_{п.р}} \right], \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\Delta m_{кп}$  – приращение массы основной и раздаточной коробки передач;

$\Delta m_{o.6}$  – приращение массы топливного бака.

### Результаты и обсуждение

Для выполнения расчетов подрессоренной массы транспортного средства использованы:

данные автомобиля УАЗ – 3303;

двигателя,  $m_1$  – 243 кг;

радиатора охлаждения,  $m_p$  – 30 кг;

кабины,  $m_2$  – 269 кг;

кузова,  $m_3$  – 606 кг;

переднего моста, – 133 кг;

заднего моста – 101 кг;

топливного бака – 74,6 кг;

рамы без бампера и буксирного крюка – 114 кг;

длина кузова – 2600 мм;

длина рамы – 2550 мм;

ширина рамы – 1005 мм;

ширина рамы в суженной части – 700 мм.

Параметрический анализ подрессоренной массы проводился приращенными массами. Вычисленный по формуле (6) приращенной массы рамы составила 56 кг, длина – 4257 мм, коэффициент сужения – 0,8 (рис. 2), статическая напряженность снижена на 15,1 %.

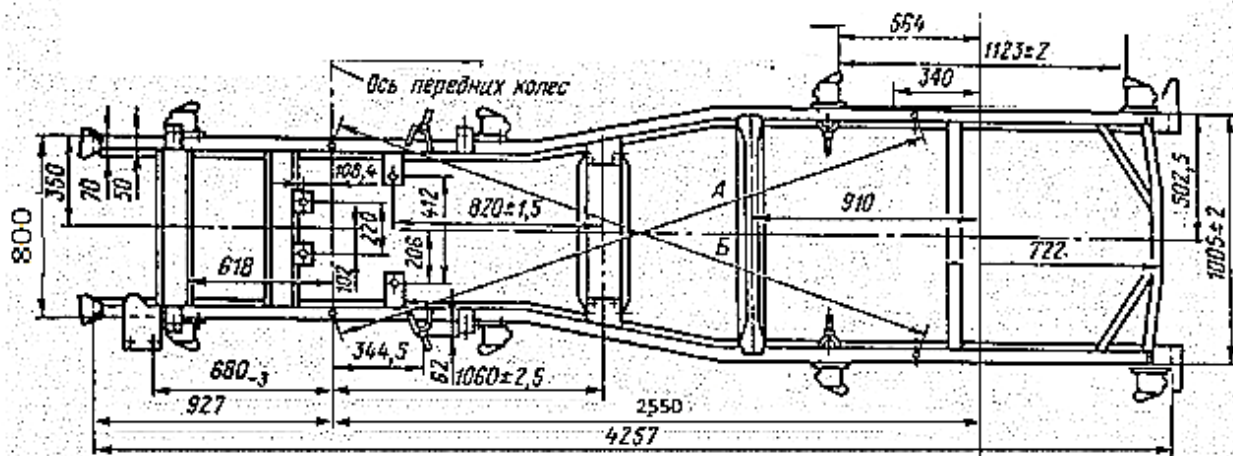


Рисунок 2 – Геометрические характеристики рамы автомобиля УАЗ-3303

Использование параметрических зависимостей с учетом требования постоянства относительной массы проектируемой рамы позволяет выбрать необходимые изменения компенсирующих параметров и можно провести соответствующую оптимизацию. Различие при проектировании так называемых существенных и конструктивных параметров подтверждается тем, что статистические зависимости массы отдельных агрегатов отличаются от соотношений теории подобия, зависимых для одного параметра. По формуле (6) получена приращенная масса рамы составила 56 кг, длина – 4757 мм, коэффициент сужения – 0,8. Статическая напряженность снижена на 15,1 %, что, безусловно, окажет влияние на долговечность использования рамы в условиях эксплуатации.

Для обоснованного определения допускаемых напряжений по статической прочности в общем случае сложного напряженного состояния обычно используют теорию прочности. В ней за критерий прочности принимают наибольшее или наименьшее главные напряжения, т.е. этот критерий выглядит следующим образом:  $\sigma_{\max} = \sigma_T$ ;  $|\sigma_{\min}| = \sigma'_T$ ,

где  $\sigma_{\max}$  и  $\sigma_{\min}$  – наибольшее и наименьшее главные напряжения;

$\sigma_T$  и  $\sigma'_T$  – пределы текучести при растяжении или сжатии соответственно.

Однако в некоторых случаях [19] эта теория приводит к неверным результатам. Согласно этой теории, текучесть материала начинается, когда наибольшее касательное напряжение становится равным наибольшему касательному напряжению предела текучести при простом растяжении. Более точным критерием прочности является деформационный критерий, который записывается в виде

$$|\varepsilon_{\max}| \leq \frac{2}{3}(1 + \mu) \left[ \varepsilon_{\sigma_b} \right],$$

где  $\varepsilon$  – деформация материала;

$\mu$  – коэффициент Пуассона;

$\varepsilon_{\sigma_b}$  – предел прочности материала.

Практическое использование этого критерия затруднительно, поскольку требует учета нелинейной работы материала при определении напряженно-деформированного состояния. Более точные результаты можно получить в лабораторных условиях. Ступенчатая нагрузка рамы и замера деформации для каждой ступени позволяют получить петли гистерезиса, площади которых характеризуют накопленной энергии в материале. Зависимость значений энергии от количества циклов нагружения показывает скорость роста микротрещин, позволяющая прогнозировать ресурс рамы. Однако этот процесс длительный и трудоемкий для крупногабаритных конструкций.

### Выводы

1. Пересчет относительной массы агрегатов от исходного варианта может быть получен и для других масс транспортного средства.
2. Представляя относительную мощность двигателя в виде функции силы тяги на ведущих колесах, влияющих подрессоренной массы и буксируемого прицепа, можно оптимально произвести выбор параметров вспомогательных компонентов

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбос Э., Нойбауер А., Освальд Ю. и др. Экономия сырья и материалов. М.: Металлургия, 1989. 255 с.
2. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 427 с.
3. Бабаев Ф.В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение, 1982. 168 с.
4. Быховский М.Д. Выбор оптимальных параметров подвески автомобиля // Изв. вузов. Машиностроение. 1971. №5. С. 146 -150.
5. Голубев Ю.Ф. Нейросетевые методы в мехатронике. М.: Моск. гос.ун-т, 2007. 157 с.
6. Гридин Е. Используя энергию маховика // Автомобильный транспорт, 1986. №4. 60 с.
7. Дьяков И.Ф. К вычислению геометрических характеристик тонкостенных сечений // Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейроинформатика в науке и технике: Труды международной конф. (КЛИН-2006). Ульяновск: УлГТУ, 2006. Т. 4. С. 141-142.
8. Дьяков И.Ф. Основы оптимизации в автомобилестроении. М.: Машиностроение, 2012. 386 с.
9. Дьяков И.Ф., Чернов С.А., Черный А.Н. Автоматизация анализа тонкостенных металлоконструкций на стадии проектирования. Ульяновск, 2007. 173 с.
10. Дьяков И.Ф. Оптимальный выбор транспортных средств на основе нейронной технологии. М.: Машиностроение, 2016. 378 с.
11. Жеглов Л.Ф. Спектральный метод расчета подрессоривания колесных машин. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 150 с.
12. Nagasaka Yoshiyuki, Shichino Hayato, Takahashi Tomoyuki CAE Systems for Gear Design and Manufacturing as Concurrent Engineering Tool // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers №645. 2000. P. 250.
13. Капуста П.П., Верес А.Н., Слабко И.А. Экспериментальные исследования сопротивления усталости и разработка новой сборочной конструкции рамы двухосного магистрального тягача с повышенным ресурсом // Грузовик. 2011. №5. С. 34-39.
14. Проектирование полноприводных колесных машин. Т. 1. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 486 с.
15. Фурунжиев Р.И. Проектирование оптимальных виброзащитных систем. Минск.: Вышэйш школа, 1971. 320 с.
16. Masinda J. Application of the boundary element method to elasticity and thermoelasticity problems // Monogr. and Mem, Nat. Res. Inst. Mach. Des. Praha Bechavice. 1986. №36. P. 58.
17. Sawada T. Imanari M. Error estimate of numerical integration in boundary element method analysis // Bulletin of JSME. Vol. 29. №258. 1986. P. 4072-7079.
18. Wearing J.L., Abdul Rahman A. G. Aregular indirect bem for stress analysis // Boundary elements 9. 9th Int. Conf. Stuttgart. 1987. Vol. 1. Southampton. 1987. P. 183-198.
19. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. В 2-х т. М.: Физматгиз, 1960. т. 2. 480 с.

университет  
Адрес: 432027, Россия, г. Ульяновск, Северный Венец  
Д.т.н., профессор кафедры «Основы проектирования  
машин и инженерная графика»  
E-mail: i.dyakov@ulstu.ru

Адрес: 432011, Россия, г. Ульяновск, пер. Мира, д. 24  
К.э.н., зам.директора  
E-mail: yurymoiseev@mail.ru

**Дьяков Владислав Иванович**  
ООО «Евроизол»  
Адрес: 4320 г. Ульяновск, Московское шоссе, д.32  
К.т.н., инж. программист  
E-mail: dyakov72@vail.ru

I.F. DYAKOV, Y.V. MOISEEV, V.I. DYAKOV

## PARAMETRIC ANALYSIS OF THE VEHICLE SURRENDER MASS

**Abstract.** The method of parametric analysis of the sprung mass of a vehicle is presented, and a calculation mathematical model is given. The goal and tasks of parametric analysis of the sprung mass are formulated based on the mutual coordination of strength requirements. The calculation method is considered on a specific vehicle. The results of the analysis of the vehicle frame design are given

**Keywords:** analysis, sprung mass, frame, geometric and load parameters, direct and inverse calculation

### BIBLIOGRAPHY

1. Ambos E., Noybauer A., Osval'd YU. i dr. Ekonomiya syr'ya i materialov. M.: Metallurgiya, 1989. 255 s.
2. Attetkov A.V., Galkin S.V., Zarubin V.S. Metody optimizatsii. M.: MGТУ im. N.E. Bauman, 2003. 427 s.
3. Babaev F.V. Optimal'nyy raskroy materialov s pomoshch'yu EVM. M.: Mashinostroyeniye, 1982. 168 s.
4. Bykhovskiy M.D. Vybory optimal'nykh parametrov podveski avtomobilya // Izv. vuzov. Mashinostroyeniye. 1971. №5. S. 146-150.
5. Golubev YU.F. Neyrosetevye metody v mekhatronike. M.: Mosk. gos.un-t, 2007. 157 s.
6. Gridin E. Ispol'zuya energiyu makhovika // Avtomobil'nyy transport, 1986. №4. 60 s.
7. D'yakov I.F. K vychisleniyu geometricheskikh kharakteristik tonkostennykh secheniy // Kontinual'nye algebricheskie logiki, ischisleniya i neyroinformatika v nauke i tekhnike: Trudy mezhdunarodnoy konf. (KLIN-2006). Ulyanovsk: UIGTU, 2006. T. 4. S. 141-142.
8. D'yakov I.F. Osnovy optimizatsii v avtomobilestroenii. M.: Mashinostroyeniye, 2012. 386 s.
9. D'yakov I.F., Chernov S.A., Chernyy A.N. Avtomatizatsiya analiza tonkostennykh metallokonstruktsiy na stadii proektirovaniya. Ulyanovsk, 2007. 173 s.
10. D'yakov I.F. Optimal'nyy vybor transportnykh sredstv na osnove neyronnoy tekhnologii. M.: Mashinostroyeniye, 2016. 378 s.
11. ZHeglov L.F. Spektral'nyy metod rascheta podressorivaniya kolesnykh mashin. M.: MGТУ im. N.E. Bauman, 2013. 150 s.
12. Nagasaka Yoshiyuki, Shichino Hayato, Takahashi Tomoyuki CAE Systems for Gear Design and Manufacturing as Concurrent Engineering Tool // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers №645. 2000. P. 250.
13. Kapusta P.P., Veres A.N., Slabko I.A. Eksperimental'nye issledovaniya soprotivleniya ustalosti i razrabotka novoy sbornochnoy konstruktsii ramy dvukhsnogo magistral'nogo tyagacha s povyshennym resursom // Gruzovik. 2011. №5. S. 34-39.
14. Proektirovaniye polnoprivodnykh kolesnykh mashin. T. 1. M.: MGТУ im. N.E. Bauman, 1999. 486 s.
15. Furunzhiev R.I. Proektirovaniye optimal'nykh vibrozashchitnykh sistem. Minsk.: Vyshcheysh shkola, 1971. 320 s.
16. Masinda J. Application of the boundary element method to elasticity and thermoelasticity problems // Monogr. and Mem. Nat. Res. Inst. Mach. Des. Praha Bechavice. 1986. №36. R. 58.
17. Sawada T. Imanari M. Error estimate of numerical integration in boundary element method analysis // Bulletin of JSME. Vol. 29. №258. 1986. R. 407277079.
18. Wearing J.L., Abdul Rahman A. G. Aregular indirect bem for stress analysis // Boundary elements 9. 9th Int. Conf. Stuttgart. 1987. Vol. 1. Southampton. 1987. R. 183-198.
19. Timoshenko S.P. Soprotivleniye materialov. V 2-kh t. M.: Fizmatgiz, 1960. t. 2. 480 s.

**Dyakov Ivan Fedorovich**  
Ulyanovsk State Technical University  
Address: 432027, Russia, Ulyanovsk, Severny Venets, 32,  
Doctor of Engineering Sciences  
E-mail: i.dyakov@ulstu.ru

**Dyakov Vladislav Ivanovich**  
ООО «Евроизол»  
Address: 4320, Russia, Ulyanovsk, Moskovskoe Shosse  
Candidate of Engineering Sciences  
E-mail: dyakov72@vail.ru

**Moiseev Yuri Vasilievich**  
ZAO «Security System» at the Department of Internal  
Affairs  
Address: 432011, Russia, Ulyanovsk, Mira Lane, 24  
Candidate of Economic Sciences  
E-mail: yurymoiseev@mail.ru

Научная статья

УДК 712

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-83-91

В.В. СИВАКОВ, С.Е. ПРОКОПОВИЧ, И.Ю. АДАМОВИЧ

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И ЛАНДШАФТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**Аннотация.** Качество жизни человека зависит от городской среды, в которой он проживает. Приведен анализ способов повышения качества и улучшения внешнего вида дорожной сети города с помощью методов ландшафтного проектирования. Рассмотрена динамика изменения количества дорожно-транспортных происшествий в РФ за 2019-2023 г., снижающихся благодаря принятию федеральных программ по снижению аварийности. Отмечается рост аварийности, связанной со средствами индивидуальной мобильности. Указано, что концепция использования озеленения городских дорог благоприятно влияет на качество городской среды. Приведены примеры применения ландшафтного проектирования в г. Брянске при модернизации существующих дорог и строительстве новых.

**Ключевые слова:** транспортные потоки, ландшафтная архитектура, современная городская среда, безопасность движения, легковые автомобили

### Введение

Проблема организации транспортных потоков является одной из самых ключевых в современном мире, так как миллиарды людей во всем мире, так или иначе, становятся их участниками ежедневно (путь на работу, учебу, в магазин и т.д.) [1-5]. При этом стоит отметить, что транспортные потоки касаются не только водителей транспортных средств и пассажиров, но и пешеходов, в том числе велосипедистов и «электросамокатеров». О последних стоит говорить отдельно, так как этот новый вид передвижения вызывает множество проблем на улицах городов. Электросамокат по усредненным данным может развивать скорость до 25 км/ч, что не так уж и много, однако при столкновении на такой скорости с человеком и водителем, и пострадавший могут получить серьезные травмы. Случаев с такими происшествиями в РФ становится все больше (рис. 1), поэтому при организации транспортных потоков следует учитывать этот момент.

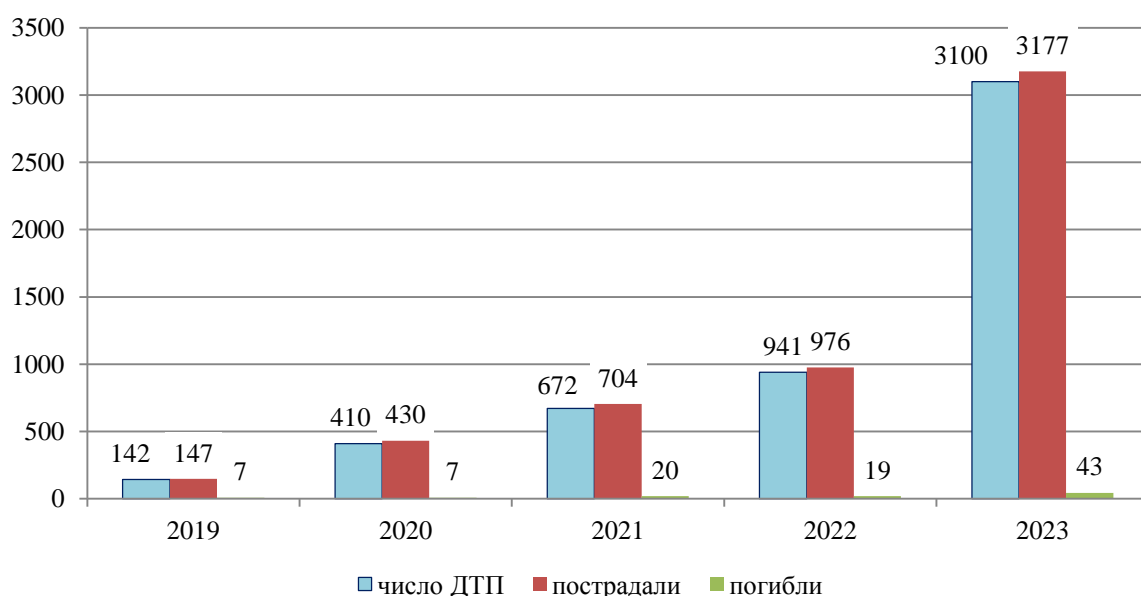


Рисунок 1 – Динамика изменения количества ДТП в РФ с участием средств индивидуальной мобильности [6]



Безопасность дорожного движения в РФ находится под пристальным вниманием со стороны федеральных и региональных властей, для снижения количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) был разработан ряд программ, в частности федеральный проект «Безопасность дорожного движения», в котором прописаны целевые показатели:

- транспортный риск (по итогам 2023 г. составил 2,36 при прогножном значении – 2,4);
- социальный риск (составивший 9,91 при прогножном значении – 9,94) [6].

Разработанные в рамках различных программ мероприятия позволили существенно снизить количество дорожно-транспортных происшествий (рис. 2).

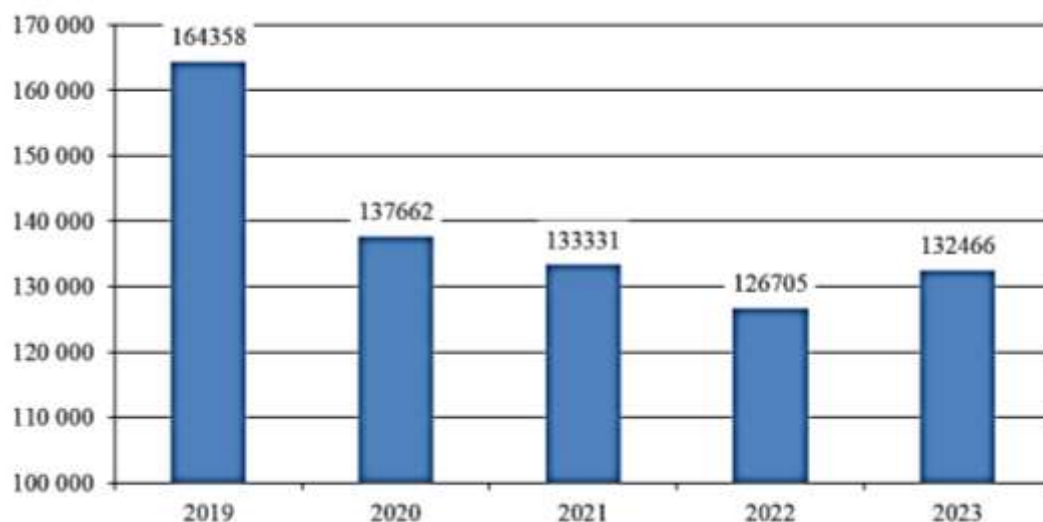


Рисунок 2 – Динамика изменения количества ДТП в РФ [5]

В 2022 г. в г. Брянске рост числа погибших обусловлен неудовлетворительными условиями содержания улично-дорожной сети (41,1 % от общего количества ДТП), в результате которых погибли 7 человек и 100 участников дорожного движения получили травмы (рис. 3). Улучшение качества дорог, управления дорожным движением привело к снижению этого показателя в 2023 г.

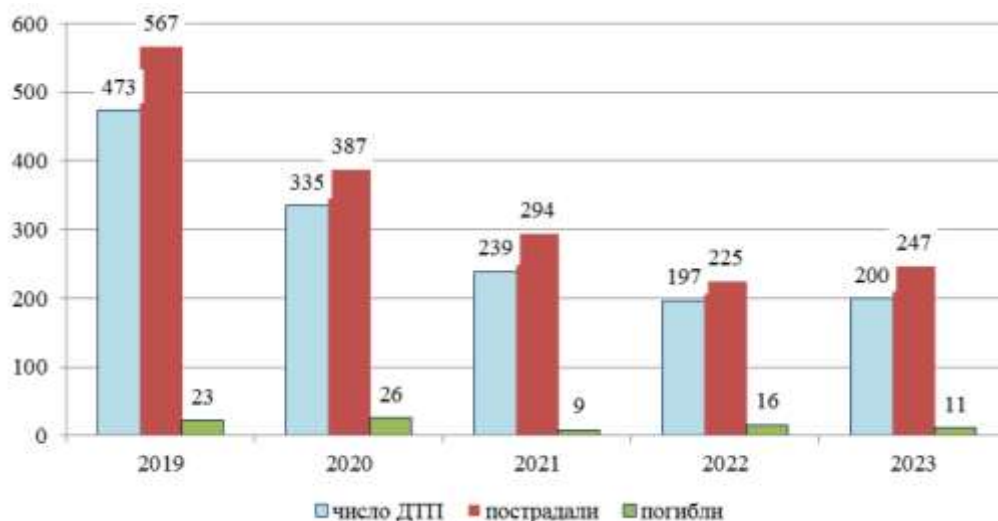


Рисунок 3 – Динамика изменения количества ДТП в г. Брянске

Из-за быстрого роста населения городов транспортные артерии зачастую переполнены. Дискомфорт испытывают все участники дорожного движения. Это связано с тем, что количество автотранспорта увеличивается, а ширина дорог (т.е. их прямая вместимость) остается прежней. Из этого следует, что для разгрузки трафика движения транспорта и комфортного нахождения в нем его участников необходимо увеличение дорожного пространства и правильная его организация [7-9]. Решить эту задачу помогает ландшафтная архитектура [1,

2], цель которой заключается в формировании благоприятной внешней среды для жизнедеятельности и отдыха населения с учетом функциональных, эстетических и технико-экономических требований [10, 11].

### **Материал и методы**

Цель исследований - оценка состояния дорожно-уличной сети г. Брянска и формируемой методами ландшафтной архитектуры благоприятной внешней среды для жизнедеятельности.

Метод исследования – аналитический, основанный на анализе состояния городского транспорта, улично-дорожной сети и возможности рационального использования ландшафтной архитектуры. Данные получены путем исследования открытых интернет-ресурсов, в том числе интернет-сайта администрации г. Брянска, натурных наблюдений.

### **Теория**

Влияние ландшафтной архитектуры на оптимизацию транспортных потоков заключается в следующем:

1) планирование и проектирование городской инфраструктуры путем разработки городского планирования с учетом месторасположения дорог, пешеходных и велосипедных дорожек, общественного транспорта, зон отдыха и зеленых насаждений. Правильное планирование инфраструктуры позволяет снизить автомобильные пробки, улучшить доступность общественного транспорта и создать комфортные условия для пешеходов;

2) проектирование зеленых насаждений и парков, которые могут быть использованы для организации пешеходных зон, велосипедных дорожек и мест отдыха, при этом могут создаваться уникальные парковые ансамбли, объединяющие людей, улучшающие микроклимат и создающие природный барьер против загрязнений и шума от дорожного транспорта;

3) создание уличной мебели и обустройство территории, пешеходных зон, остановок общественного транспорта, велопарковок и других объектов, которые улучшают условия передвижения пешеходов и общественного транспорта. Такие объекты делают городские пространства более функциональными и удобными для всех пользователей;

4) использование технологий умного города с внедрением современных технологий и инновационных решений для управления транспортными потоками (например, системы учета движения транспорта, синхронизация светофоров, мониторинг качества воздуха и шумоизоляция). Такие технологии помогают оптимизировать использование городского пространства и повышают безопасность дорожного движения.

Одним из наиболее известных и любимых приемов ландшафтной архитектуры в оптимизации транспортных потоков являются живые изгороди и зеленые разделительные полосы [12].

Живые изгороди направлены в первую очередь на защиту от пыли, грязи и выхлопов тех объектов, которые находятся за пределами дороги [13-15], состоят преимущественно из кустарников и деревьев различной высоты (рис. 4). При создании живых изгородей необходимо учитывать выносливость растений к неблагоприятным условиям (грязный воздух, плохая инсоляция, особенности рельефа, климата и т.д.). Рассмотрим перечень деревьев и кустарников, являющихся наиболее хорошими очистителями воздушных масс:

- пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius*) - является не только очистителем, но и декоративным украшением территории, так как хорошо переносит формовку и стрижку;

- все виды тополей. Однако к 30 годам страдают ядровой гнилью, поэтому требуют постоянного осмотра;

- ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica*) - помимо сложных листьев имеет опушённые побеги, пылевые частицы улавливаются не только листьями, но и ветвями;

- липа мелколистная (*Tilia cordata*) - имеет липкие листья, декоративна;

- многие виды кленов - быстро растут, декоративны (особенно осенью), но предпочитают хорошо освещенные места.



*Рисунок 4 – Пример живой изгороди вдоль дорог*

Таким образом, подобные изгороди отделяют дорогу от тротуара, что значительно повышает безопасность пешеходов во время передвижения, создают привлекательный общий вид территории в целом и очищают окружающую среду от загрязнений.

Зеленые разделительные полосы (рис. 5) являются более простым, но не менее действенным способом разграничения пространства. Они создаются, как правило, между полосами противоположного движения, но могут находиться и по бокам дороги. На них высаживаются травянистые растения, которые не нуждаются в серьезном уходе и очень выносливы к неблагоприятным условиям окружающей среды. Для придания более аккуратного вида такие разделительные полосы стригут или косят специальными косилками.



*Рисунок 5 – Пример зеленой разделительной полосы*

### ***Результаты и обсуждение***

Таким образом, ландшафтная архитектура играет ключевую роль в формировании транспортных потоков, улучшая условия передвижения и создавая удобное и безопасное городское пространство для всех его пользователей [16-20].

Город является живым организмом, непрерывно меняется и на сегодняшний день во многих городах РФ наблюдается тенденция озеленения дорожного пространства. Не отстает



от этого тренда и г. Брянск. Так, если взять один из главных проспектов города – проспект Ленина (рис. 6), то можно говорить о выраженной полосе озеленения вдоль проезжей части. Полоса сформирована из аллеи насаждений липы, которые защищают тротуар, а также рядом стоящие дома от пыли, выхлопных газов и дорожного шума.



*Рисунок 6 – Проспект Ленина*

Следующие два примера – улица Советская и Московский проспект. В обоих случаях ярко выражена зеленая разделительная полоса.

Если рассматривать Московский проспект (рис. 7), то следует отметить, что по обе стороны проезжей части встречаются насаждения деревьев. На улице Советской (рис. 8) отсутствие деревьев компенсируется обширными газонами. На проспекте Стенке Димитрова (рис. 9) проезжие части разделены зеленой полосой, по обеим сторонам проезжей части разбит газон, встречаются насаждения деревьев.



*Рисунок 7 – Проспект Московский*



*Рисунок 8 – Улица Советская*



*Рисунок 9 – Проспект Станке Димитрова*

Новый подход к проектированию благоприятной дорожно-уличной среды гораздо проще воплотить при строительстве новых микрорайонов, удачным примером такого подхода является Мегаполис-парк (рис. 10), расположенный на окраине г.Брянска.

### **Выводы**

Правильная организация дорожного движения, качественные и безопасная дорожная среда, широкая цифровизация является залогом снижения аварийности на улицах города, повышения качества жизни горожан, снижения вредных воздействий транспорта на окружающую среду [21-24]. При проектировании новых дорог или реконструкции существующих необходимо шире привлекать ландшафтных дизайнеров, которые могут помочь сделать городскую среду более комфортной и дружелюбной человеку. Позитивные примеры такого рода подхода становятся все более заметными.





Рисунок 10 – Мегполис-парк

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kudryavtseva V. The modern urban environment: development trends and prospects // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 751. 012027. DOI: 10.1088/1755-1315/751/1/012027.
2. Giyasov B.I., Gurovich B.M. Influence of architecture and planning structure modern urban development for ecology environment // Building and reconstruction. 2022. 103. 94-103. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-103-5-94-103.
3. Avramidou M., Manika S. Interaction of modern architectural design with the environment: Evaluation and application in urban open spaces for developing resilient cities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 899. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/899/1/012011.
4. Сиваков В.В., Камынин В.В., Тихомиров П.В. Совершенствование городских пассажирских перевозок (на примере г. Брянска) // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2020. №4. С. 61-69. DOI: 10.15593/24111678/2020.04.07.
5. Малышев М.И. Инновации в области городского общественного транспорта и перспективы внедрения принципов новой мобильности // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2022. Т. 25. №3. С. 36-50. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-3-36-50.
6. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации в 2023 году [Электронный ресурс]. URL: <https://media.mvd.ru/files/embed/5767457>.
7. Berman N., Belov A. Общественный транспорт и инновации // International Journal of Advanced Studies. 2019. DOI: 10.12731/2227-930X-2019-2-7-13.
8. Teodorovic D., Janic M. Public Transportation Systems. 2022. DOI: 10.1016/B978-0-323-90813-9.00007-2.
9. Basso L., Navarro M., Silva H. Public transport and urban structure // Economics of Transportation. 2021. №28. 100232. DOI: 10.1016/j.ecotra.2021.100232.
10. Farahani R.Z., Miandoabchi E., Szeto W.Y., Rashidi H. A review of urban transportation network design problems // European Journal of Operational Research. 2013. №229. P. 281-302. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.01.001.
11. Rakhmatullina A.R., Korobeynikova E.V. Trends in urban public transport // International Journal of Advanced Studies. 2020. Vol. 10. №3. P. 123-131. DOI: 10.12731/2227-930X-2020-3-123-131.
12. Михайленко А.В. Ландшафтная архитектура в организации транспортных потоков города // Вестник Бурятского государственного университета. Философия. 2012. №14. С. 175-178.
13. Зеге А.Н., Трофименко Ю.В. Оценка определения сокращения выбросов при пересадке пользователей автомобилей и общественного транспорта на велосипед для крупного города // European Journal of Natural History. 2022. №1. С. 90-94.
14. Джахьяева С.Б., Климова Е.В. Причины загрязнения экосистемы города Астрахани выбросами автомобильного транспорта и пути его снижения // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. №1(60). С. 13-20. DOI: 10.52170/1815-9265\_2022\_60\_13.
15. Deshazo J., Sheldon T., Carson R. Designing policy incentives for cleaner technologies: Lessons from California's plug-in electric vehicle rebate program. Journal of Environmental Economics and Management. 2017. 84. DOI: 10.1016/j.jeem.2017.01.002.
16. Шуленбаева А.Р., Джумабаева А.Т., Сейтов Н.Б. [и др.]. Ландшафтная архитектура в организации транспортных потоков города // Herland Science of South Kazakhstan. 2019. №2(6). С. 25-29.
17. Прокопович С.Е., Дракунов И.И., Сиваков В.В., Адамович И.Ю. Роль ландшафтной архитектуры при организации транспортных потоков // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2023. №2. С. 78-86. DOI: 10.15593/24111678/2023.02.08.
18. Батракова А.Г. Оценка влияния зеленых насаждений на безопасность дорожного движения // Вестник ХНАДУ. 2009. №47.
19. Özgün K., Günay M., Basaran B., Bulut B., Yürüten E., Baysan F., Kalemsiz M. Analysis of Public Transportation for Efficiency. 2021. doi: 10.1007/978-3-030-79357-9\_63.

20. Плаксина Е.А. Озеленение городов как метод защиты от загрязнений автомобильного транспорта (на примере города Волжского) // Материалы научной сессии: Сборник материалов: в 6 частях. Волгоградский государственный университет. Волгоград: Волгоградский государственный университет. 2016. Ч. 6. С. 42-44.

21. Сиваков В.В., Боровая К.С. Внедрение информационных технологий при организации пассажирских маршрутных перевозок в г.Брянске // Транспортное дело России. 2019. №4. С. 98-99.

22. Di Tan, Shuaishuai Liu, Ruixian Li, Kun Yang. Research status of behaviour decision-making for intelligent vehicles // International Journal of Vehicle Information and Communication Systems. 2019. Vol. 4. №3. P. 279-297. DOI: 10.1504/IJVICS.2019.102228.

23. 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.

24. Minglei S., Rongrong L., Binghua W., Minwo L. Modelling and analysis of urban vehicle traffic congestion characteristics based on vehicle-borne network theory. International Journal of Vehicle Information and Communication Systems. 2020. Vol.5. №2. P. 156-172. DOI: 10.1504/IJVICS.2020.108902.

**Сиваков Владимир Викторович**

Брянский государственный инженерно-технологический университет

Адрес: 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3

К.т.н., доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и сервис», заместитель директора по учебной работе Института лесного комплекса, ландшафтной архитектуры, транспорта и экологии

E-mail: sv@bgitu.ru

**Прокопович Серафима Евгеньевна**

Брянский государственный инженерно-технологический университет

Адрес: 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3

Студент

E-mail: valerarrjjj@gmail.com

**Адамович Игорь Юрьевич**

Брянский государственный инженерно-технологический университет

Адрес: 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3

К.т.н., доцент кафедры «Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство»

E-mail: igor\_adamovich@mail.ru

---

V.V. SIVAKOV, S.E. PROKOPOVICH, I.YU. ADAMOVICH

## IMPROVING THE ORGANIZATION OF TRAFFIC FLOWS AND LANDSCAPE DESIGN

**Abstract.** *The quality of a person's life depends on the urban environment in which they live. The analysis of ways to improve the quality and appearance of the city's road network using landscape design methods is presented. The dynamics of changes in the number of road accidents in the Russian Federation for 2019-2023, which are decreasing due to the adoption of federal programs to reduce accidents, is considered. There is an increase in accidents related to personal mobility equipment. It is indicated that the concept of using urban road landscaping has a beneficial effect on the quality of the urban environment. Examples of the use of landscape design in Bryansk in the modernization of existing roads and the construction of new ones are given.*

**Keywords:** *traffic flows, landscape architecture, modern urban environment, traffic safety, passenger cars*

### BIBLIOGRAPHY

1. Kudryavtseva V. The modern urban environment: development trends and prospects // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 751. 012027. DOI: 10.1088/1755-1315/751/1/012027.

2. Giyasov B.I., Gurovich B.M. Influence of architecture and planning structure modern urban development for ecology environment // Building and reconstruction. 2022. 103. 94-103. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-103-5-94-103.

3. Avramidou M., Manika S. Interaction of modern architectural design with the environment: Evaluation and application in urban open spaces for developing resilient cities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 899. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/899/1/012011.

4. Sivakov V.V., Kamynin V.V., Tikhomirov P.V. Sovershenstvovanie gorodskikh passazhirskikh perevozok (na primere g. Bryanska) // Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya. 2020. №4. S. 61-69. DOI:

10.15593/24111678/2020.04.07.

5. Malyshev M.I. Innovatsii v oblasti gorodskogo obshchestvennogo transporta i perspektivy vnedreniya printsiptov novoy mobil'nosti // Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviatsii. 2022. T. 25. №3. S. 36-50. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-3-36-50.

6. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii v 2023 godu [Elektronnyy resurs]. URL: <https://media.mvd.ru/files/embed/5767457>.

7. Berman N., Belov A. Obshchestvennyy transport i innovatsii // International Journal of Advanced Studies. 2019. DOI: 10.12731/2227-930X-2019-2-7-13.

8. Teodorovic D., Janic M. Public Transportation Systems. 2022. DOI: 10.1016/B978-0-323-90813-9.00007-2.

9. Basso L., Navarro M., Silva H. Public transport and urban structure // Economics of Transportation. 2021. №28. 100232. DOI: 10.1016/j.ecotra.2021.100232.

10. Farahani R.Z., Miandoabchi E., Szeto W.Y., Rashidi H. A review of urban transportation network design problems // European Journal of Operational Research. 2013. №229. P. 281-302. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.01.001.

11. Rakhmatullina A.R., Korobeynikova E.V. Trends in urban public transport // International Journal of Advanced Studies. 2020. Vol. 10. №3. P. 123-131. DOI: 10.12731/2227-930X-2020-3-123-131.

12. Mikhaylenko A.V. Landshaftnaya arkhitektura v organizatsii transportnykh potokov goroda // Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofiya. 2012. №14. S. 175-178.

13. Zege A.N., Trofimenko YU.V. Otsenka opredeleniya sokrashcheniya vybrosov pri peresadke pol'zovateley avtomobiley i obshchestvennogo transporta na velosiped dlya krupnogo goroda // European Journal of Natural History. 2022. №1. S. 90-94.

14. Dzhakh'yeva S.B., Klimova E.V. Prichiny zagryazneniya ekosistemy goroda Astrakhani vybrosami avtomobil'nogo transporta i puti ego snizheniya // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2022. №1(60). S. 13-20. DOI: 10.52170/1815-9265\_2022\_60\_13.

15. Deshazo J., Sheldon T., Carson R. Designing policy incentives for cleaner technologies: Lessons from California's plug-in electric vehicle rebate program. Journal of Environmental Economics and Management. 2017. 84. DOI: 10.1016/j.jeem.2017.01.002.

16. Shulenbaeva A.R., Dzhumabaeva A.T., Seytov N.B. [i dr.]. Landshaftnaya arkhitektura v organizatsii transportnykh potokov goroda // Herland Science of South Kazakhstan. 2019. №2(6). S. 25-29.

17. Prokopovich S.E., Drakunov I.I., Sivakov V.V., Adamovich I.YU. Rol' landshaftnoy arkitektury pri organizatsii transportnykh potokov // Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya. 2023. №2. S. 78-86. DOI: 10.15593/24111678/2023.02.08.

18. Batrakova A.G. Otsenka vliyaniya zelenykh nasazhdeniy na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // Vestnik HNADU. 2009. №47.

19. ?zg'n K., G'nyay M., Basaran B., Bulut B., Y'r'ten E., Baysan F., Kalemiz M. Analysis of Public Transportation for Efficiency. 2021. doi: 10.1007/978-3-030-79357-9\_63.

20. Plaksina E.A. Ozelenenie gorodov kak metod zashchity ot zagryazneniy avtomobil'nogo transporta (na primere goroda Volzhskogo) // Materialy nauchnoy sessii: Sbornik materialov: v 6 chastyakh. Volgogradskiy gosudarstvennyy universitet. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy universitet. 2016. CH. 6. S. 42-44.

21. Sivakov V.V., Borovaya K.S. Vnedrenie informatsionnykh tekhnologiy pri organizatsii passazhirskikh marshrutnykh perevozok v g.Bryanske // Transportnoe delo Rossii. 2019. №4. S. 98-99.

22. Di Tan, Shuaishuai Liu, Ruixian Li, Kun Yang. Research status of behaviour decisionmaking for intelligent vehicles // International Journal of Vehicle Information and Communication Systems. 2019. Vol. 4. №3. R. 279-297. DOI: 10.1504/IJIVICS.2019.102228.

23. 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.

24. Minglei S., Rongrong L., Binghua W., Minwo L. Modelling and analysis of urban vehicle traffic congestion characteristics based on vehicle-borne network theory. International Journal of Vehicle Information and Communication Systems. 2020. Vol. 5. №2. P. 156-172. DOI: 10.1504/IJIVICS.2020.108902.

**Sivakov Vladimir Viktorovich**

Bryansk State University of Engineering and Technology

Address: 241037, Russia, Bryansk

Candidate of Technical Sciences

E-mail: sv@bgtu.ru

**Adamovich Igor Yurievich**

Bryansk State University of Engineering and Technology

Address: 241037, Russia, Bryansk

Candidate of Technical Sciences

E-mail: igor\_adamovich@mail.ru

**Prokopovich Serafima Evgenievna**

Bryansk State University of Engineering and Technology

Address: 241037, Russia, Bryansk

Student

E-mail: valerarrjjj@gmail.com



Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-92-99

А.А. ЗЕРНОВ, С.А. ГУСЕВ

## УВЕЛИЧЕНИЕ РАБОЧЕГО РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ МАСЛОРАСТВОРИМЫХ МОДИФИКАТОРОВ ТРЕНИЯ

**Аннотация.** Исследование посвящено оценке влияния органорастворимых модификаторов трения на долговечность двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Для проведения испытаний использовались лабораторные методы с применением вибрационного трибометра SRV<sup>®</sup>5 и четырехшариковой машины трения (ЧШМ), а также анализ элементов износа методом индуктивно-связанной плазменной спектроскопии (ICP-OES). Показано, что использование модификаторов трения позволяет снизить коэффициент трения до 30 % и уменьшить износ узлов двигателя на 80 % по сравнению с моторными маслами без специализированных антифрикционных добавок.

**Ключевые слова:** органорастворимые модификаторы трения, противоизносные присадки, молибденсодержащие присадки, долговечность ДВС, четырехшариковая машина трения, трибометр SRV<sup>®</sup>5

### Введение

Повышение долговечности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и оптимизация межсервисных интервалов представляют собой ключевые задачи, стоящие перед автопроизводителями и, в особенности, конечными пользователями [1]. С ростом требований к экономической эффективности и экологической безопасности, вопросы увеличения ресурса ДВС становятся особенно актуальными. Уменьшение износа основных узлов двигателя способствует увеличению межсервисных интервалов и снижению затрат на техническое обслуживание [2].

Современные конструкции двигателей создаются с учетом строгих требований к эффективности и надежности, что делает проблему износа одним из основных вызовов [3]. Повышение долговечности позволяет не только минимизировать затраты на ремонт и техобслуживание, но и способствует снижению экологического воздействия благодаря уменьшению выбросов вредных веществ [4].

Цель данного исследования заключается в комплексной оценке влияния органорастворимых модификаторов трения на долговечность ДВС. Для достижения этой цели были использованы как лабораторные методы испытаний - вибрационный трибометр SRV<sup>®</sup>5 и традиционно применяемая ЧШМ (четырёхшариковая машина трения), так и полевые методы - анализ элементов износа в отработанном масле с использованием индуктивно-связанной плазменной спектроскопии ICP-OES.

### Материал и методы

Исследования показывают, что увеличение ресурса двигателя на 15-20% снижает выбросы CO<sub>2</sub> на 5-10 % за счёт уменьшения потребности в частом техобслуживании и повышении эффективности сгорания топлива [5]. Применение органорастворимых модификаторов трения является одним из перспективных подходов, позволяющих снизить трение и износ в критических узлах ДВС, тем самым увеличивая ресурс работы двигателя. Экспериментальные исследования подтверждают, что снижение трения на 20 % с применением модификаторов позволяет достичь экономии топлива на уровне 3-5 % [6]. Кроме того, повышение долговечности двигателей способствует улучшению общих эксплуатационных характеристик автотранспортных средств, увеличению их надежности и снижению частоты отказов, что особенно важно для коммерческого транспорта, работающего в жестких условиях эксплуатации.

Износ компонентов ДВС является одной из ключевых причин снижения эксплуатационных характеристик и надежности двигателя. Постоянное трение между такими компонентами, как цилиндры, поршни, клапаны и коленчатый вал, приводит к их постепенному изнашиванию, что сокращает межсервисные интервалы и требует регулярного обслуживания [7]. Межсервисный интервал определяется как период эксплуатации транспортного средства без необходимости в проведении значительного технического обслуживания. Износ сокращает этот интервал и увеличивает частоту ремонтов, что ведет к значительным затратам [8].

Одним из наиболее эффективных подходов к повышению долговечности двигателей является применение конструктивных решений, направленных на уменьшение износа ключевых узлов, таких как цилиндропоршневая группа, клапанный механизм и подшипники коленчатого вала [9]. Этот подход включает использование высокопрочных сплавов для изготовления трущихся деталей, применение современных покрытий на основе нитрида титана для повышения износостойкости, а также оптимизацию геометрии цилиндров и поршней для улучшения распределения нагрузок. Также важное значение имеют использование специализированных материалов для деталей, подвергающихся трению, и совершенствование систем охлаждения и смазки [10]. Эти меры позволяют снизить механические и термические нагрузки на основные узлы двигателя, что способствует уменьшению скорости их износа и увеличению срока службы агрегата.

Другим важным направлением повышения долговечности двигателей является применение смазочных материалов с различными функциональными присадками, направленными на снижение трения и износа. Органорастворимые модификаторы трения представляют собой перспективную альтернативу традиционным противоизносным присадкам, позволяя существенно снизить потери на трение и уменьшить износ деталей двигателя [11]. Эти модификаторы изменяют ключевые физико-химические свойства поверхностей трения, такие как коэффициент трения, адгезию, поверхностную энергию и термостабильность материалов, что в конечном итоге, приводит к улучшению антифрикционных характеристик.

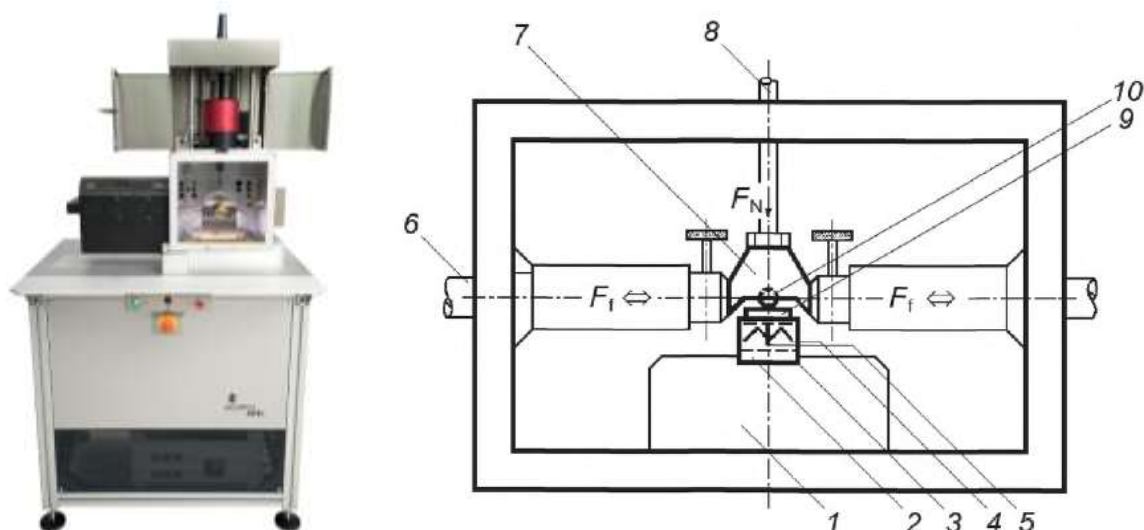
### **Теория**

Для исследования влияния органорастворимых модификаторов трения на долговечность двигателя использовались трибометр типа SRV<sup>®</sup>5 (в соответствии с методикой ГОСТ 33252, аналогичной ASTM D 6425) и ЧШМ (ГОСТ 9490), предназначенные для определения трибологических характеристик смазочных материалов (рис. 1 и 2). Выбор этих двух приборов обусловлен их уникальными возможностями, которые дополняют друг друга: трибометр SRV<sup>®</sup>5 обеспечивает детальное исследование трибологических параметров при высоких скоростях скольжения, что особенно важно для оценки поведения модификаторов в условиях, близких к реальной эксплуатации двигателя [12]. Принцип работы устройств SRV<sup>®</sup>5 базируется на создании знакопеременных циклических перемещений двух поверхностей трения, формирующих наиболее интенсивную нагрузку для смазочных и антифрикционных материалов, и трущихся поверхностей.

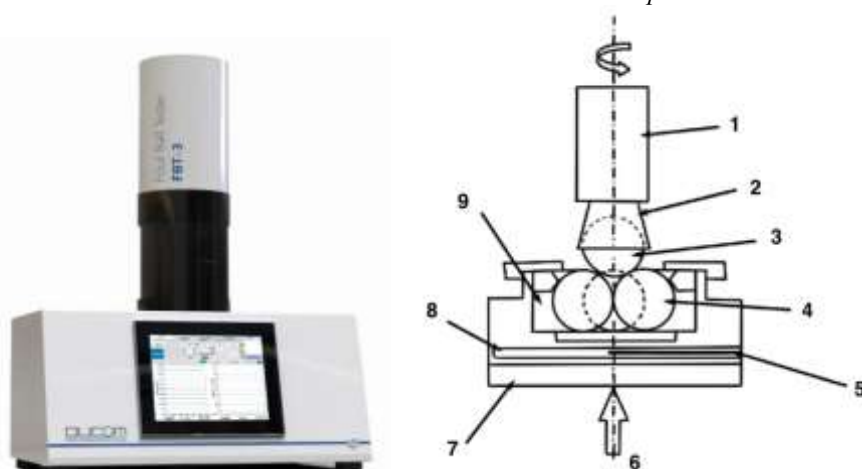
В то же время ЧШМ все еще является наиболее широко применяемым инструментом оценки трибологических характеристик смазочных материалов на территории СНГ и позволяет быстро сопоставить полученные результаты с огромной базой данных, накопленной за десятилетия исследовательских работ [13].

Данные, полученные методом индуктивно-связанной плазмы (ICP-OES), позволяли оценить концентрацию металлов, таких как железо, медь и алюминий, коррелирующих со степенью износа различных узлов двигателя, включая цилиндропоршневую группу, клапанный механизм и подшипники коленчатого вала.

Железо (Fe) – указывает на износ цилиндров, поршневых колец, распредвалов, шестерен и других компонентов двигателя, содержащих сталь. Медь (Cu) – обычно сигнализирует об износе подшипников, втулок или других деталей, выполненных из медных сплавов. Наличие меди может быть связано с коррозией или трением. Алюминий (Al) – является индикатором износа поршней, подшипников, корпусов турбокомпрессора и других компонентов, содержащих алюминиевые сплавы.



**Рисунок 1 – Общий вид трибометра SRV®5 (слева) и схема его функционального узла (справа)**  
 1 - приемный блок; 2 - пьезоэлектрическое измерительное устройство; 3 - держатель испытательного диска;  
 4 - электрический резистивный нагреватель; 5 - термометр сопротивления; 6 - шток привода колебательного  
 движения; 7 - держатель испытательного шарика; 8 - нагрузочный шток; 9 - испытательный диск;  
 10 - испытательный шарик



**Рисунок 2 – Общий вид четырехшариковой машины трения (слева) и схема ее функционального узла (справа):**  
 1 - вращающийся шпиндель; 2 - цанговый зажим; 3 - вращающийся шар; 4 - неподвижный шар;  
 5 - датчик температуры; 6 - нагрузка; 7 - антифрикционный диск; 8 - картриджный (трубчатый)  
 нагреватель; 9 - смазочный материал

Например, после 15 тыс. км пробега концентрация железа в масле не должна превышать 90 ppm, а концентрация меди и алюминия – 30 и 20 ppm соответственно, чтобы свидетельствовать о нормальных пределах износа. Изменение концентрации элементов указывало на степень износа каждого из этих узлов, что позволяло точно оценить влияние применяемых модификаторов трения [14].

### Результаты

В качестве объекта испытаний использовалось моторное масло типа SAE 10w-40 API CI-4 с различными модификаторами трения на основе органических соединений, обладающих высокими антифрикционными характеристиками. Добавление модификаторов с целью стандартизации проводилось в количестве 1,0% масс., ранее установленного в качестве наиболее оптимального усредненного количества [15].

Оценка влияния органорастворимых модификаторов на износ основных узлов двигателя проводилась как в лабораторных, так и в полевых условиях. Использование модифика-

торов привело к значительному снижению износа цилиндропоршневой группы, клапанного механизма и подшипников коленчатого вала. Для оценки степени износа использовался анализ содержания элементов износа в масле методом индуктивно-связанной плазмы (ICP-OES), что позволяло количественно оценить концентрацию металлов, таких как железо, медь и алюминий (табл. 1-4), (рис. 3-6).

Таблица 1 – Показатели износа по содержанию железа в отработанном масле

	Fe					
	5000 км		10000 км		15000 км	
Глицерина моноолеат	36	-5%	53	-5%	94	-8%
Олеамид	34	-11%	52	-7%	90	-12%
Мо амидный комплекс	30	-21%	50	-11%	81	-21%
Мо DTP	8	-79%	15	-73%	42	-59%
Мо DTC	10	-74%	17	-70%	46	-55%
Без модификатора	38	0%	56	0%	102	0%

Таблица 2 – Показатели износа по содержанию меди в отработанном масле

	Cu					
	5000 км		10000 км		15000 км	
Глицерина моноолеат	17	-6%	28	-7%	38	-7%
Олеамид	17	-6%	26	-13%	36	-12%
Мо амидный комплекс	15	-17%	25	-17%	30	-27%
Мо DTP	3	-83%	10	-67%	18	-56%
Мо DTC	2	-89%	6	-80%	14	-66%
Без модификатора	18	0%	30	0%	41	0%

Таблица 3 – Показатели износа по содержанию алюминия в отработанном масле

	Al					
	5000 км		10000 км		15000 км	
Глицерина моноолеат	8	-11%	12	-8%	20	-9%
Олеамид	6	-33%	12	-8%	20	-9%
Мо амидный комплекс	6	-33%	9	-31%	16	-27%
Мо DTP	2	-78%	6	-54%	9	-59%
Мо DTC	2	-78%	7	-46%	8	-64%
Без модификатора	9	0%	13	0%	22	0%

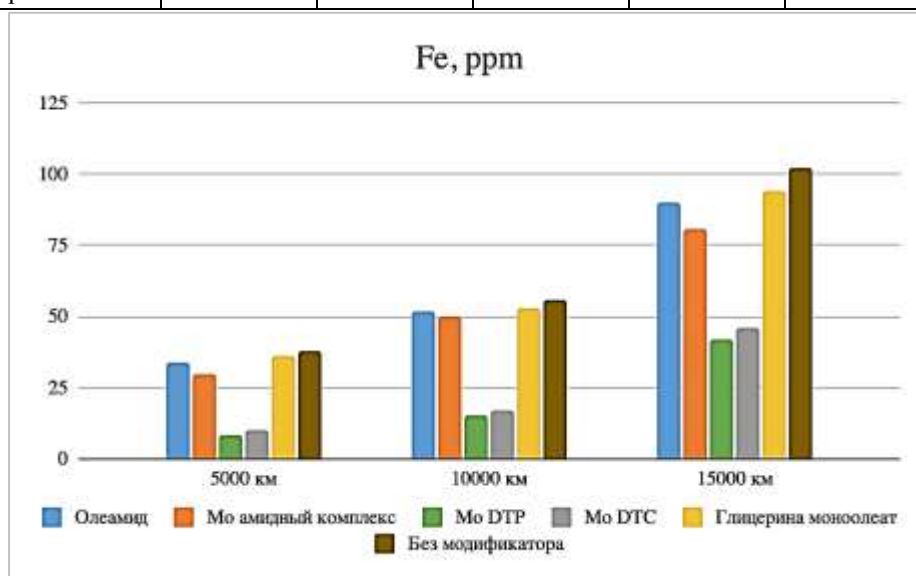


Рисунок 3 – Содержание железа в отработанном масле

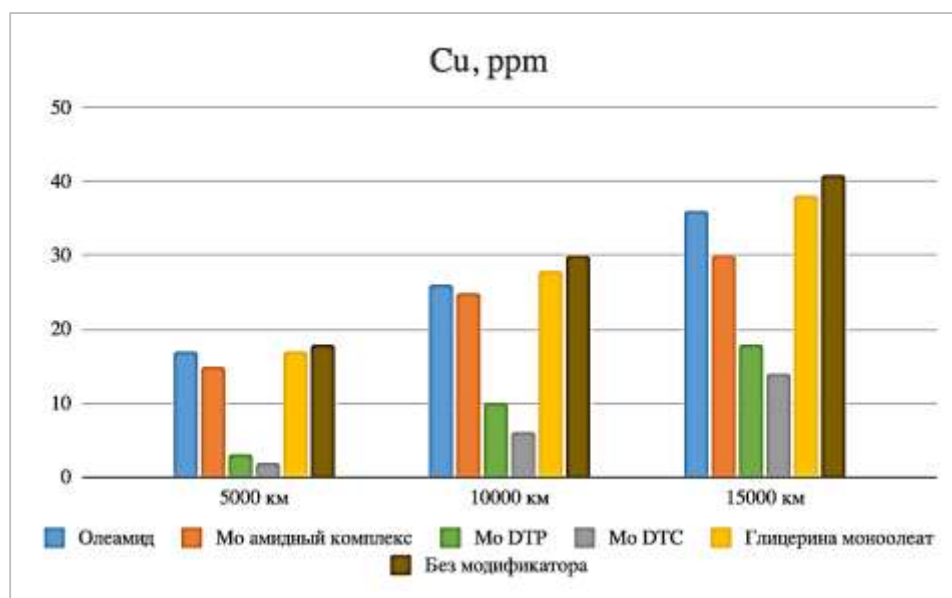


Рисунок 4 – Содержание меди в отработанном масле

Таблица 4 – Показатели износа и трения по данным ЧШМ и SRV<sup>®</sup>5

	ЧШМ / Ди		SRV <sup>®</sup> 5 / Ди		SRV <sup>®</sup> 5 / К <sub>Ф</sub>	
Глицерина моноолеат	0,56	-3%	0,62	-5%	0,22	-8%
Олеамид	0,54	-7%	0,57	-12%	0,21	-13%
Мо амидный комплекс	0,52	-10%	0,49	-25%	0,19	-21%
Мо DTP	0,39	-33%	0,41	-37%	0,17	-29%
Мо DTC	0,42	-28%	0,45	-31%	0,18	-25%
Без модификатора	0,58	0%	0,65	0%	0,24	0%

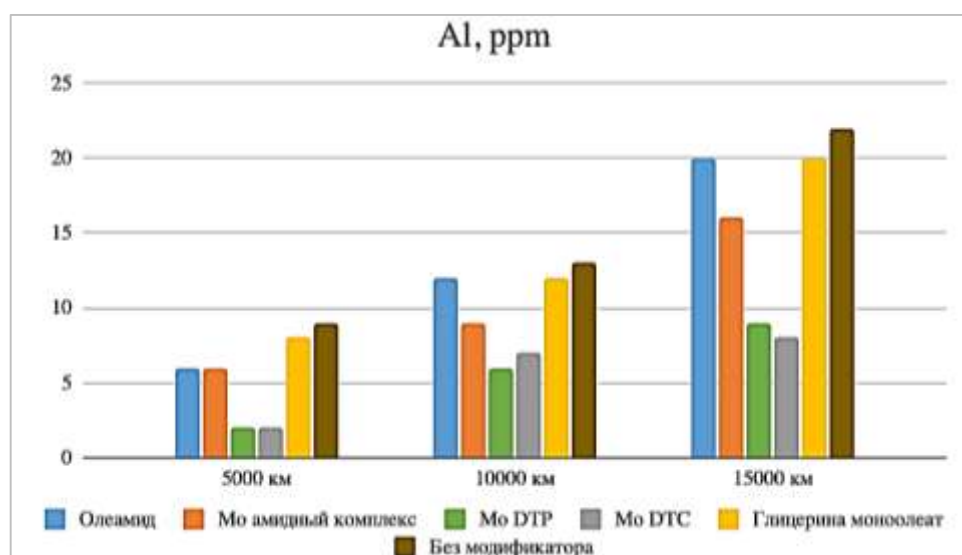


Рисунок 5 – Содержание алюминия в отработанном масле

### Обсуждение

Результаты испытаний показали, что степень износа данных узлов при использовании органорастворимых модификаторов уменьшается вплоть до 80 % по сравнению с использованием стандартных масел без модификаторов. Эти результаты подтверждают крайне высокую эффективность модификаторов трения, особенно обладающих ярко выраженными противоизносными свойствами, в защите двигателя от преждевременного износа и увеличении

срока службы его компонентов (рис. 7).

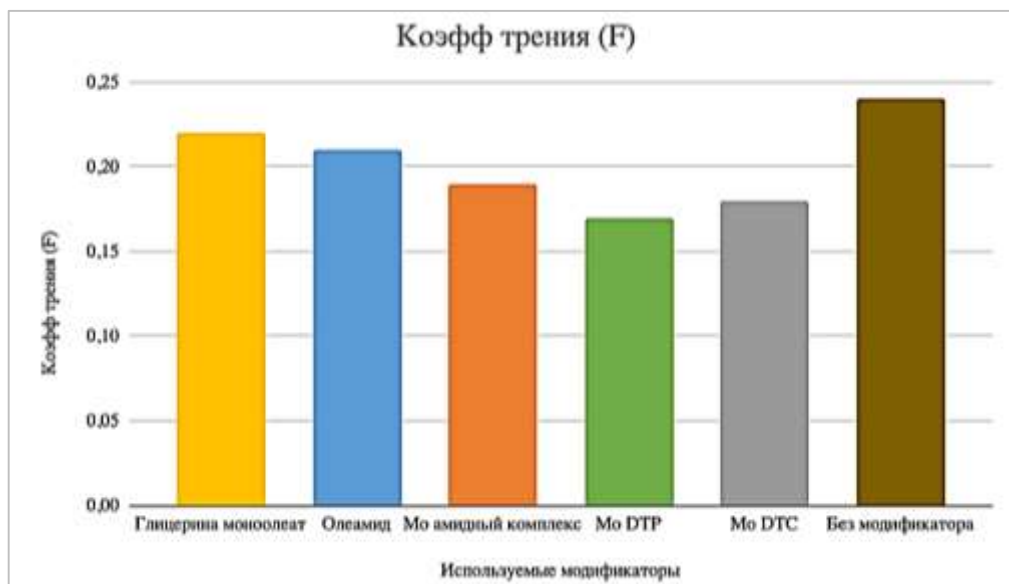


Рисунок 6 – Коэффициенты трения

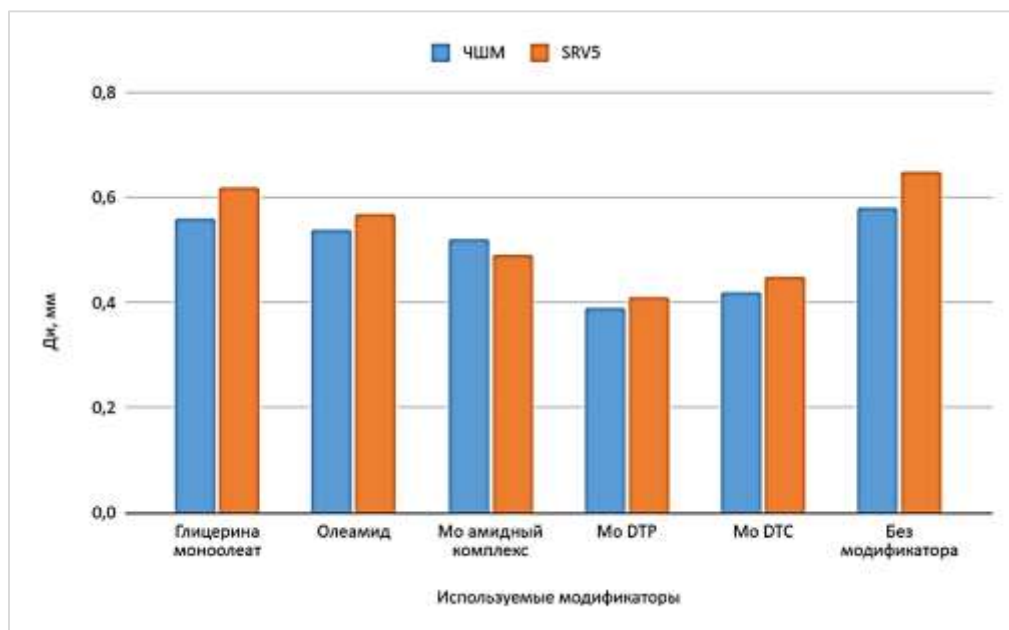


Рисунок 7 – Диаметры пятен износа, полученные на ЧШМ и SRV<sup>®</sup>5

### Выводы

Проведенное исследование продемонстрировало чрезвычайно высокую эффективность органорастворимых модификаторов трения на основе молибденсодержащих соединений в снижении трения и износа в двигателях внутреннего сгорания, что позволило улучшить их эксплуатационные характеристики. Особенной эффективностью отличились модификаторы, имеющие в составе молекулы активного вещества одновременно атомы серы и молибдена (Мо DTP и Мо DCT), что связано с ускоренным формированием дисульфида молибдена под действием нагрузок и высоких температур непосредственно в месте контакта трущихся поверхностей. В частности, снижение коэффициента трения составило 20-30 %, а уменьшение износа ключевых узлов двигателя достигало 80 % по сравнению с контрольным образцом.

Ограничением повсеместного применения подобных модификаторов могут выступать лимиты по содержанию сульфатной золы (в зависимости от требований спецификации), что может потребовать реформуляции основного пакета присадок на стадии разработки исход-

ной рецептуры, т.е. делает практически невозможным легирование модификатором уже готового товарного масла, а также высокая стоимость подобных добавок. Таким образом сценарий использования менее эффективных, но дешевых и беззольных модификаторов, таких как олеамид, глицерина моноолеат и т.д. имеет право на существование.

Интересным направлением дальнейшего изучения возможности применения органических модификаторов трения является оценка влияния на энергоэффективность двигателей внутреннего сгорания, а именно - корреляции между топливной экономичностью и коэффициентом трения в различных режимах работы двигателя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адеев З.И., Бадрудинова Е., Кучув К.А. Исследование показателей комплексной надежности двигателей внутреннего сгорания // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2007. №13. С. 48-52. EDN TJSRFL.
2. Рытов К.П., Примаков Н.В. Повышение эффективности эксплуатации автомобильных двигателей на основе сравнения работоспособности // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. №1(93). С. 98-102. DOI 10.37670/2073-0853-2022-93-1-98-102. EDN TYCASC.
3. Байделюк В.С., Долматов С.Н., Гончарова Я.С. Обоснование сравнительных критериев при оценке интенсивности износа дизельного двигателя // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40. №3. С. 202-207. DOI 10.53374/1993-0135-2022-6-202-207. EDN UVFHZI.
4. Morgunov B.A., Chashchin V.P., Gudkov A.B. [et al.]. Health Risk Factors of Emissions from Internal Combustion Engine Vehicles: An Up-to-Date Status of the Problem // Public Health and Life Environment - PH&LE. 2022. Vol. 30. №5. P. 7-14. DOI 10.35627/2219-5238/2022-30-5-7-14. EDN YEIMKJ.
5. Максимова О.В., Гинзбург В.А., Лытов В.М. Сравнение методик расчета выбросов от автотранспорта и их чувствительности к структурированию автопарка // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2020. Т. 17. №5(75). С. 612-622. DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-5-612-622. EDN EJKAZA.
6. Chanchikov V.A., Guzhvenko I.N., Pryamuhina N.V. [et al.] The influence of layered friction modifier regeneration on the anti-wear properties of lubricant compositions // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies. 2023. №4. P. 25-34. DOI 10.24143/2073-1574-2023-4-25-34. EDN YDVMYA.
7. Карпенко М.А., Морозов А.В., Карпенко Г.В. Влияние условий эксплуатации на изменение параметров износа сопряжений ДВС // Техника и оборудование для села. 2021. №11(293). С. 33-35. DOI 10.33267/2072-9642-2021-11-33-35. EDN HIVIOO.
8. Коченов В.А., Казаков С.С., Данилов Д.Ю., Жамалов Р.Р. Расчет предельного износа ДВС // Естественные и технические науки. 2022. №10(173). С. 150-155. EDN KEROII.
9. Даманский Р.В. Повышение наработки дизельных ДВС тракторов на предприятиях АПК // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. №3(233). С. 84-91. DOI 10.53083/1996-4277-2024-233-3-84-91. EDN QGHNEH.
10. Казаков С.С., Рындин А.Ю., Федосеев А.В. Совершенствование исследований надежности ДВС // Естественные и технические науки. 2022. №5(168). С. 192-196. EDN MESUXZ.
11. Падгурскас Ю., Яскаускас Е., Рукуйжа Р. [и др.]. Эффективность применения модификатора трения в двигателях внутреннего сгорания по результатам натурных испытаний // Трение и износ. 2020. Т. 41. №5. С. 641-646. DOI 10.32864/0202-4977-2020-41-5-641-646. EDN TBDDTD.
12. Новотны-Фаркаш Ф., Елагина О.Ю., Килякова А.Ю., Колбас Д.О. Оценка смазочной способности моторных масел с помощью вибрационного трибометра SRV®5 // Технологии нефти и газа. 2019. №6(125). С. 36-44.
13. Клепиков А. Лабораторный анализ смазочноохлаждающих жидкостей // Станкоинструмент. 2020. №3(20). С. 82-85. DOI 10.22184/2499-9407.2020.20.03.82.85. EDN HGSXFN.
14. Мельник М.И. Новый подход к повышению точности элементного анализа методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой // Аналитика. 2021. Т. 11. №6. С. 466-471. DOI 10.22184/2227-572X.2021.11.6.466.471. EDN ZPMMFY.
15. Зернов А.А., Блинов Д.Г., Гусев С.А. Модификаторы трения в смазочных материалах - эффективный инструмент повышения энергоэффективности ДВС // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-1(86). С. 58-66. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-58-66. EDN HQANQJ.

**Зернов Александр Анатольевич**

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

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

Аспирант

E-mail: inform2@rusptk.com

**Гусев Сергей Александрович**

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

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

Д.э.н., зав. кафедрой организации перевозок, безопасности движения и сервиса автомобилей

E-mail: o051nm@yandex.ru

## INCREASE IN THE WORKING LIFE OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE BY INTRODUCING OIL-SOLUBLE FRICTION MODIFIERS

**Abstract.** The study is devoted to assessing the effect of organosoluble friction modifiers on the durability of internal combustion engines (ICE). Laboratory methods using a SRV®5 vibration tribometer and a four-ball friction machine (FFM), as well as analysis of wear elements using the inductively coupled plasma spectrometry (ICP-OES) method were used for testing. It is shown that the use of friction modifiers allows reducing the friction coefficient by up to 30 % and reducing engine component wear by 80 % compared to motor oils without specialized antifriction additives.

**Keywords:** organo-soluble friction modifiers, anti-wear additives, molybdenum-containing additives, internal combustion engine durability, four-ball friction machine, SRV®5 tribometer

### BIBLIOGRAPHY

1. Adeev Z.I., Badrudinova E., Kuchuv K.A. Issledovanie pokazateley kompleksnoy nadezhnosti dvigateley vnutrennego sgoraniya // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2007. №13. S. 48-52. EDN TJSRFL.
2. Rytov K.P., Primakov N.V. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii avtomobil'nykh dvigateley na osnove sravneniya rabotosposobnosti // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. №1(93). S. 98-102. DOI 10.37670/2073-0853-2022-93-1-98-102. EDN TYCASC.
3. Baydelyuk V.S., Dolmatov S.N., Goncharova YA.S. Obosnovanie sravnitel'nykh kriteriev pri otsenke intensivnosti iznosa dizel'nogo dvigatelya // Hvoynye boreal'noy zony. 2022. T. 40. №3. S. 202-207. DOI 10.53374/1993-0135-2022-6-202-207. EDN UVFHZI.
4. Morgunov B.A., Chashchin V.P., Gudkov A.B. [et al.]. Health Risk Factors of Emissions from Internal Combustion Engine Vehicles: An Up-to-Date Status of the Problem // Public Health and Life Environment - PH&LE. 2022. Vol. 30. №5. P. 7-14. DOI 10.35627/2219-5238/2022-30-5-7-14. EDN YEIMKJ.
5. Maksimova O.V., Ginzburg V.A., Lytov V.M. Sravnenie metodik rascheta vybrosov ot avtotransporta i ikh chuvstvitel'nosti k strukturirovaniyu avtoparka // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2020. T. 17. №5(75). S. 612-622. DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-5-612-622. EDN EJKAZA.
6. Chanchikov V.A., Guzhvenko I.N., Pryamuhina N.V. [et al.] The influence of layered friction modifier regeneration on the antiwear properties of lubricant compositions // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies. 2023. №4. P. 25-34. DOI 10.24143/2073-1574-2023-4-25-34. EDN YDVMYA.
7. Karpenko M.A., Morozov A.V., Karpenko G.V. Vliyanie usloviy ekspluatatsii na izmenenie parametrov iznosa sopryazheniy DVS // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2021. №11(293). S. 33-35. DOI 10.33267/2072-9642-2021-11-33-35. EDN HIVIOO.
8. Kochenov V.A., Kazakov S.S., Danilov D.YU., Zhamalov R.R. Raschet predel'nogo iznosa DVS // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2022. №10(173). S. 150-155. EDN KEROII.
9. Damanskiy R.V. Povyshenie narabotki dizel'nykh DVS traktorov na predpriyatiyakh APK // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024. №3(233). S. 84-91. DOI 10.53083/1996-4277-2024-233-3-84-91. EDN QGHNEH.
10. Kazakov S.S., Ryndin A.YU., Fedoseev A.V. Sovershenstvovanie issledovaniy nadezhnosti DVS // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2022. №5(168). S. 192-196. EDN MESUXZ.
11. Padgurskas YU., YAskaukas E., Rukuyzha R. [i dr.]. Effektivnost' primeneniya modifikatora treniya v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya po rezul'tatam naturnykh ispytaniy // Trenie i iznos. 2020. T. 41. №5. S. 641-646. DOI 10.32864/0202-4977-2020-41-5-641-646. EDN TBDDTD.
12. Novotny-Farkash F., Elagina O.YU., Kilyakova A.YU., Kolbas D.O. Otsenka smazochnoy sposobnosti motornykh masel c pomoshch'yu vibratsionnogo tribometra SRV®5 // Tekhnologii nefi i gaza. 2019. №6(125). S. 36-44.
13. Klepikov A. Laboratornyy analiz smazochnookhlazhdayushchikh zhidkostey // Stankoinstrument. 2020. №3(20). S. 82-85. DOI 10.22184/2499-9407.2020.20.03.82.85. EDN HGSXFH.
14. Mel'nik M.I. Novyy podkhod k povysheniyu tochnosti elementnogo analiza metodom optiko-emissionnoy spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy // Analitika. 2021. T. 11. №6. S. 466-471. DOI 10.22184/2227-572X.2021.11.6.466.471. EDN ZPMMFY.
15. Zernov A.A., Blinov D.G., Gusev S.A. Modifikatory treniya v smazochnykh materialakh - effektivnyy instrument povysheniya energoeffektivnosti DVS // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-1(86). S. 58-66. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-58-66. EDN HQANQJ.

**Zernov Alexander Anatolievich**

Saratov State Technical University

Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic str., 77

Graduate student

E-mail: inform2@rusptk.com

**Gusev Sergey Alexandrovich**

Saratov State Technical University

Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic str., 77

Doctor of Economics Sciences

Email: o051nm@yandex.ru



## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

---

Научная статья

УДК 656.081

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-100-110

Д.В. КАПСКИЙ, С.В. БОГДАНОВИЧ, А.Н. ЧЕРНЮК

### АНАЛИЗ ОШИБОК ВОДИТЕЛЕЙ КАК ОСНОВНОЙ ПРИЧИНЫ ДТП

**Аннотация.** Статья анализирует ошибки водителей как основную причину ДТП и рассматривает перспективные направления внедрения элементов интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для минимизации таких ошибок. Предлагается классификация ошибок водителей по типу, причине и психологическим механизмам. Для снижения рисков ДТП предлагается концепция «Safe System», которая признает возможность совершения ошибок участниками дорожного движения и ставит задачу создания дорожной инфраструктуры, минимизирующей риски и последствия таких ошибок. Внедрение компонентов ИТС может существенно снизить риски возникновения ДТП, связанных с человеческим фактором.

**Ключевые слова:** ошибки водителей, дорожно-транспортные происшествия, интеллектуальные транспортные системы, безопасность дорожного движения, анализ ошибок.

#### Введение

Безопасность дорожного движения является одной из главных проблем современного общества. Ежегодно в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) гибнут и получают травмы миллионы людей во всем мире. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, дорожно-транспортный травматизм входит в десятку ведущих причин смертности населения [1]. Несмотря на предпринимаемые меры по повышению безопасности дорожного движения, количество ДТП остается на высоком уровне. Это обусловлено рядом факторов, среди которых особое место занимает человеческий фактор.

Ошибки водителей являются основной причиной возникновения ДТП. По данным исследований, от 70 % до 90 % всех дорожно-транспортных происшествий происходят по вине водителей [2]. Такие ошибки могут быть связаны с нарушением правил дорожного движения, невнимательностью, усталостью, отвлечением внимания и другими факторами. Понимание природы и механизмов возникновения ошибок водителей является ключевым аспектом в разработке эффективных мер по повышению безопасности дорожного движения.

В последние годы в мировой практике активно развиваются новые подходы к обеспечению безопасности дорожного движения. Одним из таких подходов является концепция «Safe System», которая признает возможность совершения ошибок участниками дорожного движения и ставит задачу создания дорожной инфраструктуры, минимизирующей риски и последствия таких ошибок [3]. В рамках этой концепции продвигается идея «дороги, прощающей ошибки» (forgiving road), предполагающая внедрение инженерных решений и технологий, способных компенсировать ошибки водителей и предотвращать серьезные последствия ДТП. Важную роль в реализации «Safe System» играют интеллектуальные транспортные системы (ИТС). ИТС представляют собой комплекс технологий и решений, направленных на повышение эффективности и безопасности дорожного движения за счет интеграции информационных и коммуникационных технологий в транспортную инфраструктуру [4]. Внедрение компонентов ИТС, устанавливаемых на дороге, может существенно снизить риски возникновения ДТП, связанных с ошибками водителей.

Целью данной статьи является анализ ошибок водителей как основной причины ДТП и рассмотрение перспективных направлений внедрения элементов ИТС для минимизации таких ошибок. В статье будут рассмотрены типы ошибок водителей, их влияние на безопас

ность дорожного движения, а также современные подходы и технологии, направленные на создание «прощающей» дорожной инфраструктуры. Особое внимание будет уделено анализу компонентов ИТС, устанавливаемых на дороге, и их потенциалу в снижении аварийности, связанной с человеческим фактором.

### ***Материал и методы***

В данном исследовании был проведен комплексный анализ литературы по теме ошибок водителей и их влияния на безопасность дорожного движения. Основными источниками информации послужили научные публикации, отчеты международных организаций и исследовательских институтов в области безопасности дорожного движения.

Методология исследования включала в себя:

- 1) систематический обзор литературы по классификации ошибок водителей, их причинам и последствиям;
- 2) анализ современных подходов к обеспечению безопасности дорожного движения, в частности концепции «Safe System» и «дороги, прощающей ошибки»;
- 3) изучение роли ИТС в минимизации ошибок водителей и повышении безопасности дорожного движения;
- 4) оценку влияния различных условий движения и характеристик дороги на совершение ошибок водителями, основанную на обобщении данных из литературных источников;
- 5) анализ перспективных направлений развития ИТС для предотвращения ошибок водителей.

Особое внимание было уделено работам, опубликованным в последнее десятилетие, для обеспечения актуальности представленной информации. В исследовании использовались как отечественные, так и зарубежные источники для формирования комплексного представления о проблеме и подходах к ее решению.

### ***Теория***

Ошибки водителей являются одним из ключевых факторов, определяющих уровень безопасности дорожного движения. По данным Всемирной организации здравоохранения, 60-90 % всех ДТП вызваны неправильными действиями или решениями водителей [1]. В связи с этим, анализ и предотвращение таких ошибок является одним из перспективных направлений повышения безопасности дорожного движения.

Всестороннему исследованию человеческих ошибок, в частности, ошибок водителей посвящены обширные исследования, проводимые во всем мире. Эти исследования имеют решающее значение для повышения безопасности дорожного движения и снижения количества аварий. Ученые стремятся выявить основные факторы, влияющие на принятие водителями неверных решений, такие как невнимательность, усталость, употребление алкоголя или наркотиков, а также особенности психологического состояния человека. Кроме того, изучаются ошибки, связанные с неправильной оценкой дорожной ситуации, превышением скорости и несоблюдением правил дорожного движения. Результаты этих исследований используются для совершенствования систем помощи водителю, разработки новых образовательных программ и усовершенствования законодательства в области безопасности дорожного движения. Понимание природы человеческих ошибок позволяет создавать более эффективные меры по их предотвращению, что, в конечном счете, спасает жизни и снижает количество травм на дорогах.

Ошибки водителей могут быть классифицированы по различным критериям, таким как тип ошибки, причина ошибки, временные и пространственные характеристики. Один из наиболее распространенных подходов к классификации ошибок водителей основан на типе ошибки и включает в себя следующие категории [5]:

- 1) ошибки наблюдения: связаны с недостаточным или неточным восприятием дорожной обстановки, например, невнимательность, неучет слепых зон, неверная оценка расстояния или скорости;

2) ошибки интерпретации: связаны с неправильным толкованием или пониманием дорожной обстановки, например, неверная оценка намерений других участников движения, неправильное восприятие дорожных знаков или разметки;

3) ошибки принятия решения: связаны с неправильным выбором действий в ответ на дорожную обстановку, например, необоснованный риск, неуступчивость, неверный выбор маршрута или скорости;

4) ошибки выполнения: связаны с неправильным или неточным выполнением действий, например, потеря управления, неумение водить в сложных условиях, неверное использование педалей или рычагов.

Каждый из этих типов ошибок может привести к возникновению опасных ситуаций на дороге и стать причиной ДТП.

На постсоветском пространстве в направлении исследования ошибок водителя широко известна работа В.В. Чванова [6]. В соответствии с его трактовкой работа водителя сопоставима с деятельностью оператора в особых условиях, связанных с риском аварийных ситуаций, переработкой больших объемов информации, возможным резким изменением функциональных состояний. Это предъявляет повышенные требования к водителю и может приводить к ошибкам в его работе. Основные причины ошибок водителя рассматриваются с двух точек зрения: как следствие нарушения информационных процессов при восприятии дорожных условий и как следствие повышенного допускаемого риска в дорожном движении (например, несоблюдение ПДД)

Около 80 % всех ДТП обусловлено ошибками водителей, вызванных неблагоприятной окружающей обстановкой в процессе движения. Причины ошибок объясняются нарушением процессов преобразования информации, регулирующей деятельность водителя. Предлагается классификация причин ошибок водителя в зависимости от классов информационных ошибок человека-оператора. Неблагоприятные дорожные условия рассматриваются как факторы, способствующие возникновению ошибок, наряду с психофизиологическим состоянием водителя. Большинство причин ошибок водителей вызвано нарушением процессов восприятия и преобразования информации в сложных дорожных условиях. Факторами риска являются дефицит времени, недогрузка/перегрузка информацией, монотонность, неблагоприятные функциональные состояния. По В.В. Чванову ошибки водителя могут иметь случайный и закономерный характер. Закономерные ошибки связаны с несоответствием неблагоприятных дорожных условий функциональным возможностям водителя, а также с ошибочным поведением при выборе режима движения. Основные причины ошибочного поведения водителей - превышение скорости, выезд на встречную полосу, несоблюдение очередности проезда и дистанции. Они обусловлены недооценкой опасности, ошибочным предвидением развития ситуации, отвлечением внимания. Для снижения риска ДТП параметры дорог должны иметь резерв безопасности, компенсирующий возможное ошибочное поведение водителя [6].

Ошибки водителей могут быть также классифицированы на основе психологических механизмов, приводящих к ошибкам, и факторов, способствующих их возникновению. Можно выделить следующие категории классификации [7]:

- 1) человеческие состояния и факторы:
  - физические/физиологические;
  - ментальные/эмоциональные;
  - опыт/экспозиция.
- 2) прямые причины человеческих ошибок:
  - ошибки в распознавании;
  - ошибки в принятии решений;
  - ошибки в выполнении.
- 3) другие факторы, влияющие на ошибки водителей:
  - недостаточное обучение;
  - условия, способствующие нарушениям;

- отсутствие организации.

К этой классификации можно добавить следующие факторы:

- связанные с задачей вождения: относящиеся к целям и мотивации водителя, например, срочность поездки, усталость, стресс, отвлекающие факторы (например, разговор на телефоне или музыка);
- связанные с дорожной обстановкой: относящиеся к особенностям дороги, транспортного средства и других участников движения, например, тип и состояние дороги, погодные условия, освещенность, техническое состояние автомобиля, поведение других водителей или пешеходов.

Еще одной из схем классификации ошибок водителей является Система анализа и классификации человеческого фактора (HFACS), которая классифицирует ошибки на ошибки, связанные с навыками, ошибки принятия решений и нарушения [8]. Кроме того, ошибки водителя можно классифицировать по типу когнитивных нарушений, например, ошибки распознавания, ошибки принятия решений и ошибки в исполнении, причем ошибки распознавания являются наиболее распространенными среди водителей-подростков [9]. Водители пожилого возраста, в частности, часто допускают ошибки, связанные с неадекватным наблюдением и неправильной оценкой скорости или расстояния до транспортного средства [10].

Исследования показывают, что такие факторы, как превышение скорости, несоблюдение дистанции, невнимательность и усталость, существенно повышают риск попадания в аварию [11]. Например, превышение скорости является одной из наиболее распространенных причин ДТП и приводит к увеличению тяжести последствий в случае аварии. Переключение внимания водителя, связанное с использованием мобильных телефонов, навигационных систем или другими факторами, также вносит значительный вклад в аварийность на дорогах. Отвлечение внимания даже на короткий промежуток времени может существенно повысить риск ДТП.

Усталость и сонливость водителей являются еще одним важным фактором, влияющим на безопасность дорожного движения. Управление транспортным средством в состоянии утомления приводит к снижению концентрации внимания, увеличению времени реакции и повышению вероятности совершения ошибок [12].

Условия движения и элементы инфраструктуры могут оказывать существенное влияние на совершение ошибок водителями. Исследования в этом направлении также многочисленны. В исследованиях, связанных с применением интеллектуальных транспортных систем для предотвращения ошибок водителей, представляют интерес работы, анализирующие влияние на водителя конкретных условий движения и характеристик дороги. Например, такое влияние достаточно подробно рассмотрено в [13]. Здесь ошибки водителя делятся на следующие виды:

- ошибки распознавания, к ним относится неспособность водителя распознать опасную ситуацию;
- ошибки решения – неправильное реагирование на распознанную ситуацию, высокая скорость и агрессивное вождение;
- ошибки управления – излишнее или недостаточное воздействие на органы управления транспортным средством.

В таблице 1 на основе анализа литературы показано обобщенное влияние различных условий движения и характеристик дороги на совершение ошибок водителей на автомобильных дорогах.

Таким образом, анализ и понимание типов ошибок водителей и их влияния на возникновение ДТП является важным шагом в разработке эффективных мер по повышению безопасности дорожного движения.

Концепция «Safe System» представляет собой современный подход к обеспечению безопасности дорожного движения, основанный на признании возможности совершения ошибок участниками дорожного движения и создании дорожной инфраструктуры, минимизирующей риски и последствия таких ошибок [14]. Данная концепция исходит из того, что

человек может ошибаться, и задача состоит в том, чтобы создать дорожную систему, способную «прощать» эти ошибки.

В рамках концепции «Safe System» продвигается идея «дороги, прощающей ошибки» (forgiving road). Этот подход предполагает внедрение инженерных решений и технологий, направленных на снижение рисков возникновения ДТП и минимизацию последствий в случае их возникновения [15]. Если говорить об инфраструктурной составляющей, то примерами таких решений могут быть:

- создание более широких и разделенных полос движения, снижающих риск лобовых столкновений;
- устранение придорожных препятствий или установка ограждений, снижающих тяжесть последствий при съезде автомобиля с дороги. Устройство более пологих откосов;
- использование дорожных покрытий с высоким коэффициентом сцепления;
- внедрение интеллектуальных систем освещения и дорожных знаков, адаптирующихся к условиям видимости и дорожной ситуации;
- использование травмобезопасных опор дорожных знаков и опор освещения.

Таблица 1 – Влияние условий движения и отдельных характеристик дороги на совершение ошибок водителем

Условия движения/инфраструктурные факторы	Виды ошибок		
	Ошибки распознавания	Ошибки решения	Ошибки управления
Повышение интенсивности движения	+	+	-
Грузовые автомобили в потоке	-	-	-
Разделительная полоса: имеется	+	-	+
отсутствует	0	-	0
Дефекты покрытия (колея)	0	-	0
Состояние покрытия: мокрое	0	+	+
снег	-	+	+
лед	-	+	+
Искусственное освещение в темное время суток: есть	-	+	+
нет	+	+	+
Погодные условия: туман/облачно	+	+	+
снег/мокрый снег	-	+	+
дождь	-	+	0
ветер	+	0	0
Посторонние предметы на покрытии	-	-	-
Дорожные работы	0	+	+
Недостаточная ширина проезжей части	+	+	+
Недостаточная видимость в плане/профиле	+	+	+
Неправильный тип пересечения	-	+	+
Отсутствие переходноскоростных полос	+	+	-
Неудовлетворительное состояние обочин	-	+	+
Близкое расположение к проезжей части деревьев, опор и т.п.	0	+	+

*Примечание* – знак «+» означает увеличение вероятности ошибки, знак «-» - снижение вероятности ошибки, 0 означает отсутствие влияния.

Реализация концепции «дороги, прощающей ошибки» требует комплексного подхода и сотрудничества между различными заинтересованными сторонами, включая дорожные службы, автопроизводителей и органы власти.

При всей привлекательности похода «дорога, прощающая ошибки», он не лишен недостатков, наиболее существенным из которых является высокая стоимость его реализации. В особенности это касается тех стран, дороги которых строились без учета этого подхода. В этой ситуации приемлемым выходом может быть внедрение интеллектуальных транспортных систем для предотвращения ошибок водителей [16].

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) играют важную роль в повышении безопасности дорожного движения и реализации концепции «Safe System». ИТС представляют собой комплекс технологий и решений, направленных на интеграцию информационных и коммуникационных технологий в транспортную инфраструктуру.

Внедрение компонентов ИТС, устанавливаемых на дороге, может существенно снизить риски возникновения ДТП, связанных с ошибками водителей. Такие системы способны обеспечивать мониторинг дорожной ситуации, обнаружение опасных ситуаций и предупреждение водителей об их возникновении. Примерами компонентов ИТС, направленных на повышение безопасности, могут быть:

- системы мониторинга дорожного движения, использующие датчики и камеры для отслеживания транспортных потоков и выявления аномалий;
- системы предупреждения об опасных ситуациях, информирующие водителей о потенциальных рисках, таких как препятствия на дороге, неблагоприятные погодные условия или дорожно-транспортные происшествия;
- адаптивные системы управления дорожным движением, регулирующие скоростные режимы и светофорные циклы в зависимости от текущей дорожной ситуации;
- интеллектуальные системы освещения и дорожных знаков, адаптирующиеся к условиям видимости и предоставляющие водителям своевременную и актуальную информацию.

Внедрение компонентов ИТС не только способствует снижению рисков, связанных с ошибками водителей, но и повышает общую эффективность и пропускную способность дорожной инфраструктуры.

Системы мониторинга и предупреждения об опасных ситуациях являются важными компонентами ИТС, направленными на минимизацию ошибок водителей. Эти системы используют различные технологии, такие как датчики, камеры и алгоритмы компьютерного зрения, для отслеживания дорожной ситуации и выявления потенциальных рисков.

Примером такой системы может служить система обнаружения препятствий на дороге. Эта система использует камеры и алгоритмы обработки изображений для выявления объектов, представляющих опасность для движения, таких как упавшие деревья, оставленные на дороге предметы или животные. При обнаружении препятствия система может оперативно информировать водителей через дорожные знаки с изменяемой информацией или через мобильные приложения [17].

Другим примером является система предупреждения о неблагоприятных погодных условиях. Эта система собирает данные от метеорологических станций и дорожных датчиков для выявления опасных погодных явлений, таких как туман, гололед или сильный дождь. На основе этих данных система может информировать водителей о необходимости снижения скорости или выбора альтернативных маршрутов.

Системы мониторинга и предупреждения об опасных ситуациях помогают водителям принимать более обоснованные решения и снижают риски, связанные с ошибками восприятия и оценки дорожной обстановки.

Адаптивное управление дорожным движением является еще одним важным компонентом ИТС, направленным на минимизацию ошибок водителей. Эти системы используют

данные о текущей дорожной ситуации для оптимизации управления транспортными потоками и снижения рисков возникновения опасных ситуаций [18].

Примером адаптивного управления может служить система динамического регулирования скоростных режимов. Эта система анализирует данные о плотности транспортного потока, погодных условиях и других факторах для определения оптимальной скорости движения на конкретном участке дороги. На основе этих данных система может автоматически изменять допустимые скоростные режимы и информировать водителей через дорожные знаки с изменяемой информацией [19].

Другим примером является адаптивное управление светофорными циклами. Эта система использует данные с датчиков и камер для оценки интенсивности транспортных потоков на перекрестках и оптимизирует длительность зеленых и красных сигналов светофора. Это позволяет снизить риски возникновения заторов и уменьшить вероятность ошибок водителей, связанных с проездом перекрестков [20].

Адаптивное управление дорожным движением помогает создавать более безопасные и эффективные условия для движения транспортных средств, снижая риски возникновения ДТП, связанных с ошибками принятия решений водителями.

Интеллектуальное освещение и дорожные знаки являются важными компонентами ИТС, направленными на улучшение видимости и восприятия дорожной обстановки водителями. Эти системы используют адаптивные технологии для оптимизации освещения и предоставления актуальной информации в зависимости от условий движения [21].

Примером интеллектуального освещения может служить система адаптивного уличного освещения. Эта система использует датчики для оценки интенсивности естественного освещения и дорожного движения и автоматически регулирует яркость и направленность уличных фонарей. Это позволяет обеспечить оптимальную видимость для водителей в различных условиях, снижая риски ошибок, связанных с недостаточной освещенностью [22].

Другим примером являются дорожные знаки с изменяемой информацией. Эти знаки могут динамически отображать информацию о текущей дорожной ситуации, такую как ограничения скорости, предупреждения о дорожных работах или информацию о загруженности альтернативных маршрутов. Своевременное предоставление актуальной информации помогает водителям принимать более обоснованные решения и снижает риски ошибок, связанных с недостатком информации.

Интеллектуальное освещение и дорожные знаки способствуют созданию более безопасной и информативной дорожной среды, помогая водителям лучше воспринимать дорожную обстановку и снижая вероятность ошибок.

### ***Результаты и обсуждение***

Развитие интеллектуальных транспортных систем открывает новые возможности для повышения безопасности дорожного движения и минимизации ошибок водителей. Перспективные направления развития ИТС включают в себя:

1) интеграцию ИТС с системами автономного вождения. По мере развития технологий автономного вождения, интеграция ИТС с этими системами позволит создавать более безопасную и эффективную дорожную среду. Автономные транспортные средства смогут использовать информацию, предоставляемую ИТС, для принятия оптимальных решений и снижения рисков ДТП [23];

2) развитие систем связи между транспортными средствами (V2V) и между транспортными средствами и инфраструктурой (V2I). Эти системы позволяют транспортным средствам обмениваться информацией друг с другом и с элементами дорожной инфраструктуры в режиме реального времени. Это открывает возможности для более эффективного предупреждения об опасных ситуациях и координации действий водителей;

3) использование искусственного интеллекта и анализа больших данных. Применение методов искусственного интеллекта и анализа больших данных позволит более эффективно обрабатывать информацию, собираемую компонентами ИТС, и принимать более точные ре-

шения по управлению дорожным движением. Это поможет лучше прогнозировать и предотвращать опасные ситуации, связанные с ошибками водителей;

4) разработка персонализированных систем поддержки водителей. Перспективным направлением является создание персонализированных систем, учитывающих индивидуальные особенности и модели поведения водителей. Такие системы смогут адаптироваться к конкретному водителю и предоставлять ему наиболее релевантные рекомендации и предупреждения, снижая риски ошибок [24];

5) интеграция ИТС с системами управления состоянием водителя. Разработка систем, способных отслеживать состояние водителя (усталость, отвлечение внимания и т.д.) и предупреждать о потенциальных рисках, связанных с этим состоянием. Такие системы помогут снизить количество ДТП, вызванных человеческим фактором [25].

Реализация этих и других перспективных направлений развития ИТС потребует тесного сотрудничества между различными заинтересованными сторонами, включая разработчиков технологий, автопроизводителей, дорожные службы и органы власти. Комплексный подход к внедрению инновационных решений позволит значительно повысить безопасность дорожного движения и минимизировать риски, связанные с ошибками водителей.

### **Выводы**

Ошибки водителей являются основной причиной возникновения дорожно-транспортных происшествий и представляют серьезную проблему для безопасности дорожного движения. Понимание типов ошибок водителей и механизмов их возникновения является ключевым аспектом в разработке эффективных мер по повышению безопасности на дорогах.

Современные подходы к обеспечению безопасности дорожного движения, такие как концепция «Safe System» и «дорога, прощающая ошибки», признают возможность совершения ошибок участниками дорожного движения и ставят задачу создания дорожной инфраструктуры, минимизирующей риски и последствия таких ошибок. Важную роль в реализации этих подходов играют интеллектуальные транспортные системы (ИТС).

Анализ компонентов ИТС, направленных на минимизацию ошибок водителей, показывает, что такие системы, как мониторинг и предупреждение об опасных ситуациях, адаптивное управление дорожным движением, интеллектуальное освещение и дорожные знаки, способны значительно снизить риски возникновения ДТП, связанных с человеческим фактором. Эти системы помогают водителям лучше воспринимать дорожную обстановку, принимать более обоснованные решения и своевременно реагировать на потенциальные опасности.

Перспективы развития ИТС открывают новые возможности для повышения безопасности дорожного движения. Интеграция ИТС с системами автономного вождения, развитие систем связи между транспортными средствами и инфраструктурой, использование искусственного интеллекта и анализа больших данных, разработка персонализированных систем поддержки водителей и интеграция с системами управления состоянием водителя - все эти направления могут значительно снизить риски ошибок водителей и повысить общую безопасность дорожного движения.

Для успешной реализации этих перспективных направлений необходимо тесное сотрудничество между различными заинтересованными сторонами, включая разработчиков технологий, автопроизводителей, дорожные службы и органы власти. Только комплексный подход к внедрению инновационных решений позволит достичь значимых результатов в снижении аварийности и спасении человеческих жизней на дорогах.

Таким образом, анализ ошибок водителей как основной причины ДТП и рассмотрение перспективных направлений внедрения элементов ИТС для минимизации этих ошибок являются важными шагами на пути к повышению безопасности дорожного движения. Дальнейшие исследования и практические разработки в этой области позволят создать более безопасную и эффективную дорожную среду, снижающую риски для всех участников дорожного движения.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global status report on road safety 2023. [Электронный ресурс] / World Health Organization. 2023. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/375016/9789240086517-eng.pdf>
2. Singh S. Critical reasons for crashes investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey [Электронный ресурс]. Traffic Safety Facts Crash Stats. Report No. DOT HS 812 115. 2015. URL: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115>.
3. Johansson R. Vision Zero – Implementing a policy for traffic safety/ Safety Science: сетевой журнал. 2009. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.10.023>.
4. Figueiredo L. Towards the development of intelligent transportation systems [Электронный ресурс] / IEEE Xplore. URL: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2001.948835>.
5. Petridou E., Moustaki M. Human factors in the causation of road traffic crashes/ European Journal of Epidemiology: сетевой журнал [Электронный ресурс] / 2000. URL: <https://doi.org/10.1023/a:1007649804201>.
6. Чванов В.В. Методы оценки и повышения безопасности дорожного движения с учетом условий работы водителя. М.: ИНФРА-М, 2010. 416 с.
7. Stanton N., Salmon P. Human error taxonomies applied to driving: A generic driver error taxonomy and its implications for intelligent transport systems/Safety Science: сетевой журнал [Электронный ресурс] / 2009. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.03.006>.
8. Iden R., Shappell S. A. A Human Error Analysis of U.S. Fatal Highway Crashes 1990-2004 [Электронный ресурс] / 2006. URL: <https://doi.org/10.1177/154193120605001761>.
9. Curry A.E. Prevalence of teen driver errors leading to serious motor vehicle crashes [Электронный ресурс] / Accident Analysis & Prevention: сетевой журнал. 2011. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.10.019>.
10. Cicchino J.B., McCartt A.T. Critical older driver errors in a national sample of serious U.S. crashes [Электронный ресурс] / Accident Analysis and Prevention: сетевой журнал. 2015. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.04.015>.
11. Elvik R. at al. The handbook of road safety measures (2nd ed.) [Электронный ресурс] / Emerald Group Publishing Limited. 2009. URL: <https://doi.org/10.1108/9781848552517>.
12. The link between fatigue and safety/ Williamson A. at al. [Электронный ресурс] / Accident Analysis and Prevention: сетевой журнал. 2011. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.11.011>.
13. Shaon M.R.R. Exploration of Contributing Factors Related to Driver Errors on Highway Segments at al. [Электронный ресурс] / Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board: сетевой журнал. 2018. URL: <https://doi.org/10.1177/0361198118790617>.
14. Zero road deaths and serious injuries: Leading a paradigm shift to a safe system/OECD iLibrary [Электронный ресурс] / 2016. URL: <https://doi.org/10.1787/9789282108055-en>.
15. Wegman F., Aarts L. Advancing sustainable safety: National road safety outlook for 2005-2020/ SWOV Institute for Road Safety Research [Электронный ресурс] / 2006. URL: <https://www.swov.nl/publicatie/advancing-sustainable-safety-national-road-safety-outlook-2005-2020>.
16. Богданович С.В., Чернюк А.Н. Направления развития подходов к обеспечению безопасности дорожного движения в Республике Беларусь // Ensuring traffic safety in the Fergana valley: problems and solutions: Materials of the International Conference. Part 1. Namangan: NECI. 2024. P. 465469.
17. Aliane N. at al. Traffic violation alert and management [Электронный ресурс] / IEEE Xplore. 2001. URL: <https://doi.org/10.1109/itsc.2011.6082811>.
18. Koonce P. at al. Traffic signal timing manual [Электронный ресурс] / Federal Highway Administration. 2008. URL: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/index.htm>.
19. Hway-liem O. Automatic speed management in the Netherlands/ Sage Journals [Электронный ресурс] / 1996. URL: <https://doi.org/10.1177/0361198196156000>.
20. Stevanovic A., Stevanovic J., Kergaye C. Optimization of traffic signal timings based on surrogate measures of safety [Электронный ресурс] / Transportation Research Part C: Emerging Technologies: сетевой журнал. 2013. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.02.009>.
21. Long Li at al. The Development of Road Lighting Intelligent Control System Based on Wireless Network Control [Электронный ресурс] / ACM Digital Library. 2009. URL: <https://doi.org/10.1109/icect.2009.15>.
22. Bullough J.D., Donnell E.T., Rea, M.S. To illuminate or not to illuminate: Roadway lighting as it affects traffic safety at intersections [Электронный ресурс] / Accident Analysis and Prevention: сетевой журнал. 2013. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.029>.
23. Kockelman K. at al. Implications of connected and automated vehicles on the safety and operations of roadway networks: A final report [Электронный ресурс] / The University of Texas at Austin. 2016. URL: <https://library.ctr.utexas.edu/ctr-publications/0-6849-1.pdf>.
24. Birrell S.A., Fowkes M., Jennings, P.A. Effect of using an in-vehicle smart driving aid on real-world driver performance [Электронный ресурс] / IEEE Xplore. 2014. URL: <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2328357>.
25. Sahayadhas A., Sundaraj K., Murugappan M. Detecting driver drowsiness based on sensors: A review [Электронный ресурс] / Sensors: сетевой журнал. 2012. URL: <https://doi.org/10.3390/s121216937>.

**Капский Денис Васильевич**

Высшая аттестационная комиссия Республики Беларусь  
Адрес: 220072, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 66  
Д.т.н., профессор, заместитель Председателя ВАК  
E-mail: d.kapsky@gmail.com

**Богданович Сергей Валерьевич**

Белорусский национальный технический университет  
Адрес: 220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65  
К.т.н., доцент, доцент кафедры «Транспортные системы и технологии»  
E-mail: bsw001@gmail.com

**Чернюк Алексей Николаевич**

Республиканское унитарное предприятие «Минскавтодор-Центр»  
Адрес: 220073, Беларусь, г. Минск, ул. Кальварийская, 37  
Заместитель генерального директора  
E-mail: Acharniuk@yandex.by

---

D.V. KAPSKI, S.V. BOGDANOVICH, A.N. CZERNIUK

## **ANALYSIS OF DRIVER ERRORS AS THE PRIMARY CAUSE OF ROAD TRAFFIC ACCIDENTS**

**Abstract.** *The article analyzes drivers' errors as the main cause of road accidents and considers promising directions for the introduction of elements of intelligent transport systems (ITS) to minimize such errors. A classification of drivers' errors by type, cause and psychological mechanisms is proposed.*

*To reduce the risks of road accidents the concept of "Safe System" is proposed, which recognizes the possibility of making mistakes by road users and sets the task of creating road infrastructure that minimizes the risks and consequences of such mistakes. The implementation of ITS components can significantly reduce the risks of human error-related crashes.*

**Keywords:** *driver errors, road traffic accidents, intelligent transport systems, road traffic safety, error analysis*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Global status report on road safety 2023. [Elektronnyy resurs] / World Health Organization. 2023. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/375016/9789240086517-eng.pdf>
2. Singh S. Critical reasons for crashes investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey [Elektronnyy resurs]. Traffic Safety Facts Crash Stats. Report No. DOT HS 812 115. 2015. URL: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115>.
3. Johansson R. Vision Zero - Implementing a policy for traffic safety/ Safety Science: setevoy zhurnal. 2009. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.10.023>.
4. Figueiredo L. Towards the development of intelligent transportation systems [Elektronnyy resurs] / IEEE Xplore: URL: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2001.948835>.
5. Petridou E., Moustaki M. Human factors in the causation of road traffic crashes/ European Journal of Epidemiology: setevoy zhurnal [Elektronnyy resurs] / 2000. URL: <https://doi.org/10.1023/a:1007649804201>.
6. CHvanov V.V. Metody otsenki i povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya s uchetom usloviy raboty voditelya. M.: INFRA-M, 2010. 416 s.
7. Stanton N., Salmon P. Human error taxonomies applied to driving: A generic driver error taxonomy and its implications for intelligent transport systems/Safety Science: setevoy zhurnal [Elektronnyy resurs] / 2009. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.03.006>.
8. Iden R., Shappell S. A. A Human Error Analysis of U.S. Fatal Highway Crashes 1990-2004 [Elektronnyy resurs] / 2006. URL: <https://doi.org/10.1177/154193120605001761>.
9. Curry A.E. Prevalence of teen driver errors leading to serious motor vehicle crashes [Elektronnyy resurs] / Accident Analysis & Prevention: setevoy zhurnal. 2011. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.10.019>.
10. Cicchino J.B., McCartt A.T. Critical older driver errors in a national sample of serious U.S. crashes [Elektronnyy resurs] / Accident Analysis and Prevention: setevoy zhurnal. 2015. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.04.015>.

11. Elvik R. at al. The handbook of road safety measures (2nd ed.) [Elektronnyy resurs] / Emerald Group Publishing Limited. 2009. URL: <https://doi.org/10.1108/9781848552517>.
12. The link between fatigue and safety/ Williamson A. at al. [Elektronnyy resurs] / Accident Analysis and Prevention: setevoy zhurnal. 2011. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.11.011>.
13. Shaon M.R.R. Exploration of Contributing Factors Related to Driver Errors on Highway Segments [Elektronnyy resurs] / Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board: setevoy zhurnal. 2018. URL: <https://doi.org/10.1177/0361198118790617>.
14. Zero road deaths and serious injuries: Leading a paradigm shift to a safe system/OECD iLibrary [Elektronnyy resurs] / 2016. URL: <https://doi.org/10.1787/9789282108055-en>.
15. Wegman F., Aarts L. Advancing sustainable safety: National road safety outlook for 2005-2020/ SWOV Institute for Road Safety Research [Elektronnyy resurs] / 2006. URL: <https://www.swov.nl/publicatie/advancing-sustainable-safety-national-road-safety-outlook-2005-2020>.
16. Bogdanovich S.V., Chernyuk A.N. Napravleniya razvitiya podkhodov k obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Respublike Belarus` // Ensuring traffic safety in the Fergana valley: problems and solutions: Materials of the International Conference. Part 1. Namangan: NECI. 2024. R. 465469.
17. Aliane N. at al. Traffic violation alert and management [Elektronnyy resurs] / IEEE Xplore. 2001. URL: <https://doi.org/10.1109/itsc.2011.6082811>.
18. Koonce P. at al. Traffic signal timing manual [Elektronnyy resurs] / Federal Highway Administration. 2008. URL: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/index.htm>.
19. Hway-liem O. Automatic speed management in the Netherlands/ Sage Journals [Elektronnyy resurs] / 1996. URL: <https://doi.org/10.1177/0361198196156000>.
20. Stevanovic A., Stevanovic J., Kergaye C. Optimization of traffic signal timings based on surrogate measures of safety [Elektronnyy resurs] / Transportation Research Part C: Emerging Technologies: setevoy zhurnal. 2013. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.02.009>.
21. Long Li at al. The Development of Road Lighting Intelligent Control System Based on Wireless Network Control [Elektronnyy resurs] / ACM Digital Library. 2009. URL: <https://doi.org/10.1109/icect.2009.15>.
22. Bullough J.D., Donnell E.T., Rea, M.S. To illuminate or not to illuminate: Roadway lighting as it affects traffic safety at intersections [Elektronnyy resurs] / Accident Analysis and Prevention: setevoy zhurnal. 2013. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.029>.
23. Kockelman K. at al. Implications of connected and automated vehicles on the safety and operations of roadway networks: A final report [Elektronnyy resurs] / The University of Texas at Austin. 2016. URL: <https://library.ctr.utexas.edu/ctr-publications/0-6849-1.pdf>.
24. Birrell S.A., Fowkes M., Jennings, P.A. Effect of using an in-vehicle smart driving aid on realworld driver performance [Elektronnyy resurs] / IEEE Xplore. 2014. URL: <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2328357>.
25. Sahayadhas A., Sundaraj K., Murugappan M. Detecting driver drowsiness based on sensors: A review [Elektronnyy resurs] / Sensors: setevoy zhurnal. 2012. URL: <https://doi.org/10.3390/s121216937>.

**Kapski Denis Vasilievich**

Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus  
Address: 220072, Belarus, Minsk, Nezavisimosti Ave.  
Doctor of technical sciences  
E-mail: d.kapsky@gmail.com

**Chernyuk Alexey Nikolaevich**

Republican unitary enterprise «Minskavtodor-Center»  
Address: 220073, Belarus, Minsk, st. Kalvariyskaya, 37  
Deputy General Director  
E-mail: Acharniuk@yandex.by

**Bogdanovich Sergei Valerievich**

Belarusian National Technical University  
Address: 220013, Belarus, Minsk, Nezavisimosti Ave.  
Candidate of technical sciences  
E-mail: bsw001@gmail.com

Научная статья

УДК 656.071.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-111-120

О.А. ИВАНОВ, А.А. ТИТОРЕНКО, А.А. РОМАНОВ, И.В. РОДИЧЕВА

## ИИ-АССИСТЕНТ ДЛЯ АДАПТАЦИИ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ ИТС: ВОПРОСЫ АКТУАЛЬНОСТИ, АРХИТЕКТУРЫ, БЕЗОПАСНОСТИ И ЭТИКИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

**Аннотация.** В статье рассматривается применение персонализируемого ИИ-ассистента на основе RAG (Retrieval-Augmented Generation) для адаптации ИТ-специалистов в сфере ИТС. Обсуждаются возможности технологии, архитектура решения, вопросы безопасности и этики. Использование RAG на источниках доменных знаний для адаптации сотрудников в транспортной отрасли способствует цифровой трансформации, повышению квалификации кадров и устойчивому развитию ИТС в регионах.

**Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные системы, цифровизация, RAG-архитектура, ИИ-ассистент, адаптация ИТ-специалистов, человеческие ресурсы, доменные знания, нормативно-правовые акты, корпоративные базы знаний, персонализация, геймификация, большие языковые модели

### Введение

Современный этап развития транспортной отрасли характеризуется активной цифровизацией и внедрением интеллектуальных транспортных систем (ИТС), что обусловлено необходимостью повышения эффективности, безопасности и устойчивости транспортной инфраструктуры [1]. В рамках реализации государственных программ и стратегий, таких как «Цифровая экономика Российской Федерации» и «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года», особое внимание уделяется развитию ИТС, что требует привлечения высококвалифицированных ИТ-специалистов [2]. Однако специфика данной области, включающая сложные технические, нормативно-правовые и организационные аспекты, создает значительные барьеры для адаптации специалистов, особенно тех, кто переходит из смежных ИТ-сфер [3].

Проблема адаптации ИТ-специалистов в условиях цифровой трансформации транспортной отрасли заключается в необходимости быстрого освоения большого объема доменных знаний, включая нормативно-правовые акты, техническую документацию и корпоративные стандарты [4]. Традиционные методы обучения и наставничества зачастую оказываются недостаточно эффективными из-за высокой динамики изменений в отрасли и сложности структурирования информации [5]. В этой связи актуальным становится разработка и внедрение специализированных инструментов, способных обеспечить персонализированную поддержку и ускорить процесс интеграции новых сотрудников.

Одним из перспективных решений данной проблемы является использование ИИ-ассистентов на основе RAG-архитектуры (Retrieval-Augmented Generation), которая подразумевает получение информации из внешних источников/баз данных для генерации контекстно-зависимых ответов с помощью большой языковой модели [6]. В отличие от обычного использования больших языковых моделей, где ответ генерируется на основе данных, на которых они были обучены, данная технология сочетает генерацию текста с поиском релевантной информации из внешних источников, что позволяет использовать в ответах актуальную информацию и доменно специфические знания [7]. В контексте транспортной отрасли это открывает новые возможности для адаптации новых сотрудников, в частности, ИТ-специалистов, повышения их квалификации и, как следствие, - обеспечения устойчивого развития ИТС в регионах [8].

Целью данной статьи является анализ применения ИИ-ассистента на основе RAG-архитектуры для адаптации новых сотрудников, IT-специалистов в сфере интеллектуальных транспортных систем. В работе рассматриваются вопросы актуальности и применимости данного решения, его архитектурные особенности, а также перспективы использования в условиях цифровизации транспортной отрасли. Особое внимание уделяется аспектам безопасности и этики, связанным с внедрением подобных технологий.

### ***Материал и методы***

Активная цифровизация транспортной отрасли Российской Федерации, обусловленная реализацией государственных программ и стратегий, таких как «Цифровая экономика Российской Федерации» и «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года», требует привлечения значительного числа высококвалифицированных IT-специалистов [1, 2].

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) представляют собой сложную междисциплинарную область, которая объединяет элементы информационных технологий, транспортной инженерии, телекоммуникаций и управления инфраструктурой [4]. Для успешной работы в этой сфере IT-специалистам необходимо освоить специфические термины, концепции и принципы, такие как управление транспортными потоками, интеллектуальные системы навигации, обработка данных с датчиков и сенсоров, а также интеграция с системами умного города [4].

Такая специфика интеллектуальных транспортных систем (ИТС), включающая сложные технические, нормативно-правовые и организационные аспекты, а также недостаток обучающих материалов для специализированного программного обеспечения и аппаратно-программных комплексов создает серьезные барьеры для адаптации специалистов, особенно тех, кто переходит из смежных IT-сфер и/или имеет небольшой профессиональный стаж [3].

Текущий процесс адаптации (онбординга) IT-специалистов в транспортной отрасли испытывает проблемы, актуальные для большинства других отраслей экономики. Основная проблема - непоследовательность процесса адаптации (онбординга), которая отражается в различии подходов организаций и ответственных лиц, отсутствии структурированных обучающих материалов и плана/дорожной карты процесса обучения, что приводит к фрагментарному освоению необходимых знаний и навыков [5]. Объем информации, который требуется усвоить новым сотрудникам, чрезвычайно велик и включает как техническую документацию, так и нормативно-правовые акты, а также особенности работы с конкретными системами в организации, что затрудняет ее систематизацию и усвоение [6]. Зачастую информация представлена в неструктурированном виде, что усложняет процесс поиска и навигации в существующих корпусах знаний [6]. Сложность и специфичность доменной области ИТС может усугублять проблему, затрудняя восприятие информации даже для опытных IT-специалистов, что негативно сказывается на скорости и качестве их адаптации [10].

В условиях активной цифровизации транспортной отрасли и развития ИТС в регионах необходимость привлечения IT-специалистов становится все более острой [11]. Однако без эффективных инструментов поддержки процесс адаптации новых сотрудников остается трудоемким и малоэффективным, что может замедлить темпы цифровой трансформации и снизить общую эффективность работы транспортной инфраструктуры [12].

### ***Теория***

В настоящее время наблюдается рост популярности использования ИИ-ассистентов - диалоговых систем, которые позволяют взаимодействовать с пользователем посредством естественного языка [13]. Современные диалоговые системы реализованы с использованием различных технологий. С развитием искусственного интеллекта все большее применение в качестве основы диалоговой системы получают большие языковые модели [14].

В контексте диалоговых систем большие языковые модели позволяют обрабатывать и генерировать текст на естественном языке. Большие языковые модели, наиболее популярными из которых являются зарубежные BERT [15, 16], разработанный Google, GPT [17] от OpenAI и другие аналоги, обучены на огромных объемах текстовых данных, что позволяет

им понимать семантику, контекст и синтаксис человеческой речи.

Однако использование больших языковых моделей в диалоговых системах имеет определенные ограничения, основное из которых связано со спецификой их обучения: большая языковая модель генерирует ответ на основе данных, на которых она была обучена. Таким образом, ответ по определенной теме может быть неактуальным ввиду быстро меняющейся конъюнктуры, выхода новых законов/постановлений/инструкций. Дообучать модель после каждого обновления базы данных может быть дорого и нецелесообразно [18].

Одним из перспективных подходов к решению проблемы актуальности ответов большой языковой модели является использование технологии Retrieval-Augmented Generation (RAG) [6]. RAG представляет собой гибридную архитектуру, которая сочетает в себе методы поиска информации (retrieval) и генерации текста (generation) с использованием больших языковых моделей [11]. Данная технология позволяет эффективно работать с большими объемами как структурированных, так и неструктурированных данных, обеспечивая оперативный доступ к релевантной информации и генерацию контекстно-зависимых ответов [11].

Основная идея RAG заключается в том, что система в ответ на запрос запускает механизмы поиска в векторном хранилище для получения наиболее релевантной информации из внешних источников (например, корпоративных баз знаний, нормативно-правовых актов или технической документации), а затем использует их для генерации точных и содержательных ответов на запросы пользователя с помощью большой языковой модели [6]. Данный подход позволяет использовать как знания, накопленные большой языковой моделью во время обучения, так и информацию, полученную в ходе инициированного запросом поиска.

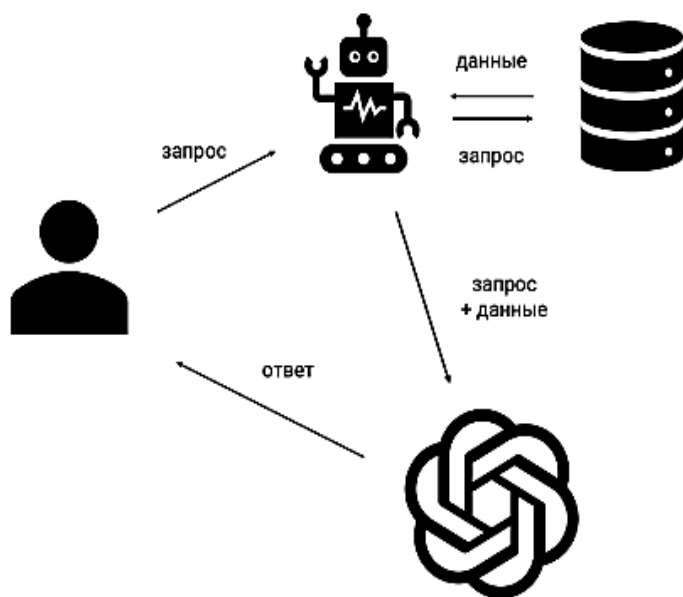


Рисунок 1 – Схематическое представление технологии RAG (Retrieval Augmented Generation)

нию [16].

Предпосылкой для применения RAG в данной задаче является наличие большого корпуса знаний в информационной сети интернет, который использовался для обучения современных больших языковых моделей, а также большого числа оцифрованных информационных источников, находящихся в ведении конкретных организаций. Корпоративные базы знаний, базы документов могут быть использованы в качестве источников данных для модели [17]. Кроме того, развитие методов обработки естественного языка (NLP) и увеличение вычислительных мощностей позволяют реализовать сложные архитектуры (примером которой является описанная выше технология RAG) с высокой точностью и производительностью [18].

Интеграция RAG с источниками информации внутри компании позволяет создавать универсальные решения, которые могут быть адаптированы под специфические требования различных организаций в транспортной отрасли [19]. Кроме того, RAG-технология может

В контексте задачи адаптации ИТ-специалистов для работы в ИТС технология RAG обладает рядом ключевых преимуществ. Она позволяет структурировать и систематизировать большие объемы информации, что особенно актуально в условиях высокой динамики изменений в транспортной отрасли. Технология RAG обеспечивает оперативный доступ к актуальным данным, что снижает временные затраты на поиск и анализ информации [15], а также затраты человеческих ресурсов на сбор и систематизацию данных. Также данная технология поддерживает генерацию контекстно-зависимых ответов, что упрощает восприятие сложной информации и способствует более эффективному обучению

быть улучшена за счет использования доменно-специфических моделей и алгоритмов, что повышает ее эффективность в работе с узкоспециализированной информацией [20].

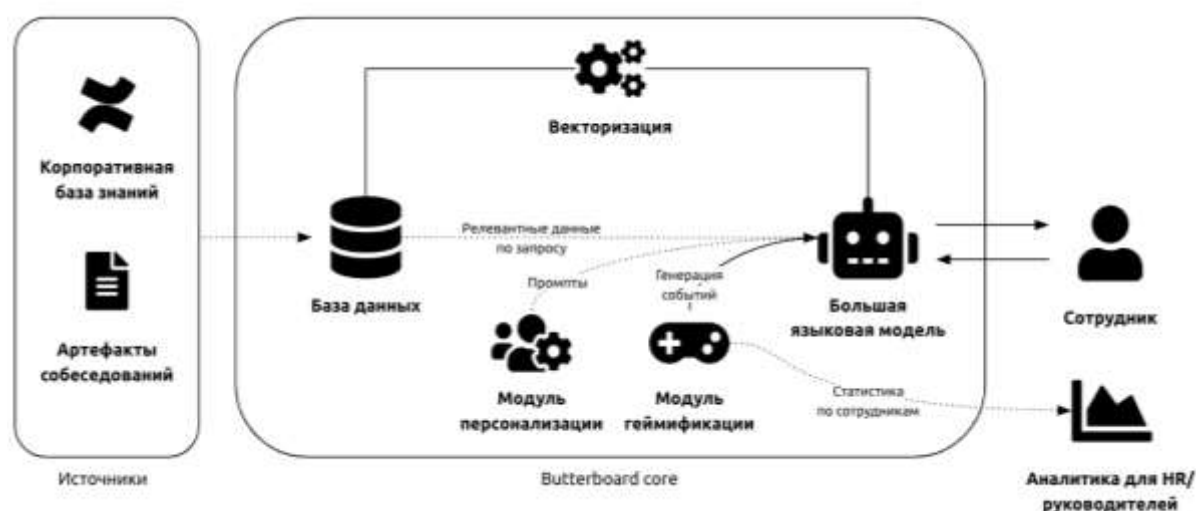


Рисунок 2 – Принцип действия ИИ-ассистента (коммерческое название – «Butterboard»)

Для решения проблемы адаптации новых сотрудников в сфере интеллектуальных транспортных систем предложена концепция ИИ-ассистента, использующего для генерации ответов актуальные данные из базы знаний компании, а также утилизирующий дополнительные нововведения (персонализацию ответов и геймификацию процесса адаптации) для улучшения пользовательского опыта сотрудников, проходящих адаптацию. В контексте настоящей работы рассматривается теоретическое обоснование решения и его концепция. Технические детали решения в данной статье рассматриваются поверхностно ввиду специфики издания.

Предлагаемое решение, на описанной выше технологии RAG представляет собой облачный программный комплекс, интегрируемый в процессы (в частности связанные с человеческими ресурсами) организации. Решение утилизирует одно из описанных выше преимуществ RAG-архитектуры: ее модульность и гибкость - возможно добавлять необходимые модули/агенты для решения конкретной задачи.

Ключевыми нововведениями в предложенном принципе действия являются специальные модули, обеспечивающие дополнительный функционал, необходимый для улучшения пользовательского опыта взаимодействия сотрудника компании, проходящего адаптацию и программного комплекса. Такими модулями (рис. 2) являются модуль персонализации и модуль геймификации.

Модуль персонализации корректирует ответы большой языковой модели в соответствии с портретом кандидата, который составляется на основе данных собеседования и замечток сотрудника отдела кадров, ответственного за его проведение. Предполагается автоматическое или полуавтоматическое создание профилей пользователей на основе входных данных. Описываемый модуль позволяет изменять тон разговора, лексику, а также содержание ответа. Работа модуля основана на технике промпт-инжиниринга: запросы пользователя дополняются специальными инструкциями, которые позволяют изменить характер ответа большой языковой модели [22].

Геймификация процесса онбординга [23] может оказывать положительное влияние на процессы адаптации новых сотрудников. Модуль геймификации, реализуемый в предлагаемом решении позволяет ситуативно генерировать игровые сценарии для обеспечения вовлеченности пользователя в процесс онбординга. Данный модуль является генератором событий в данной архитектуре - по особому расписанию или в ответ на определенные действия пользователя модуль может инициировать запрос к большой языковой модели, отправив инструкции в соответствии с необходимым сценарием. Модуль геймификации по сути делает описываемую ар-

хитектуру мультиагентной, выступая в роли контроллера процесса онбординга (супервайзера). Таким образом, модуль геймификации предлагает следующие функции:

- генерация событий игрового характера для вовлечения сотрудника в процесс онбординга;
- отслеживание прогресса прохождения онбординга (уровень сотрудника);
- обновление информации о сотруднике в его профиле.

Для того, чтобы эффективно осуществлять поиск по собираемой для RAG базе данных и использовать внешние источники для формирования ответов большой языковой модели необходима их предварительная обработка для приведения их в векторное пространство. Выбор модели эмбедингов сопряжен с нахождением компромисса между располагаемыми вычислительными ресурсами и ресурсами хранилища. В качестве примера обработки тематических документов рассмотрим векторизацию издания Душкин Р.В., "Интеллектуальные транспортные системы" объемом 280 стр., формат 240x145 мм. Для оценки объема пространства, которое займет книга, нужно учитывать, что текст книги объемом 280 страниц (приблизительно 2500 символов на страницу) составит около 700 000 символов (или ~700 000 байт, если считать 1 символ = 1 байт). В пересчете на токены (1 токен ≈ 4 символа), это примерно 175 000 токенов. Используя открытый бенчмарк русскоязычных моделей эмбедингов для задачи получения информации (retrieval) [20], можно привести примерную оценку занимаемого места на диске после перевода документа в векторное пространство. Воспользуемся формулой (1):

$$A=B \cdot C \cdot n \quad (1)$$

где A – размер эмбедингов (в байтах);

B – количество токенов;

C – размерность эмбедингов;

n – число битов, n = 4 (так как используется fp32)

Результаты представлены в таблице 1. Средний результат - арифметическое среднее значения метрики Normalized Discounted Cumulative Gain @ 10 (nDCG@10) бенчмарков RiaNewsRetrieval, RuBQRetrieval, MIRACLRetrieval (ru).

Таблица 1 - Сравнительный рейтинг русскоязычных моделей эмбедингов (МТЕВ) в задаче получения данных (retrieval)

Ранг	Модель	Размер модели (млн параметров)	Использование памяти (GB, fp32)	Размерность эмбедингов	Макс. токенов	Средний результат	Размер эмбедингов (МБ)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	FRIDA	823	3,3	-		77,03	-
2	voyage-3			1024	32000	76	700
3	bge-m3	567	2,11	1024	8192	74,79	700
4	multilingual-e5-large-instruct	560	2,09	1024	514	74,41	700
5	e5-mistral-7b-instruct	7111	26,49	4096	32768	74,19	2800
6	multilingual-e5-large	560	2,09	1024	514	74,04	700
7	USER-bge-m3	359	1,34	1024	8192	73,63	700
8	Giga-Embeddings-instruct			-		68,08	-



Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
9	multilingual-e5-base	278	1,04	768	514	67,14	525
10	KaLM-embedding-multilingual-mini-instruct-v1.5	494	1,84	896	131072	66,92	612,5

Из данных таблицы 1 видно, что в контексте одного документа (книги) разница между моделями незначительна, однако она будет ощутима при формировании большого векторного хранилища из необходимых документов. На основании данного примера можно найти сбалансированное по качеству и размеру выходных данных решение, например, multilingual-e5-large-instruct. Однако выбор модели специфичен для конкретного применения и не является основной целью данной работы.

Основным компонентом описываемой архитектурой является большая языковая модель. Она обеспечивает генерацию текста на основе извлеченной информации. Ее выбор также специфичен для конкретной задачи (в данном случае будет зависеть от ресурсов организации, ее штата и требованиям к диалоговой системе). Большая языковая модель в контексте предлагаемого решения может работать как на собственной инфраструктуре организации, так и используя облачные провайдеры. В таблице 2 представлены сводные характеристики наиболее популярных в мире больших языковых моделей и краткая характеристика обоснованности выбора.

Таблица 2 - Сравнительная таблица использования больших языковых моделей для [21]

Модель	Скорость (токенов/сек)	Задержка (сек)	Контекстное окно	Стоимость (за 1М токенов)	Стоимость	Примечания
Google Gemini 1.5 Pro	58,1	0,41	2М токенов	\$2,19	\$0,31	Лучший выбор: высокая скорость, низкая задержка, огромное контекстное окно.
OpenAI GPT-4 Turbo	36	0,65	128k токенов	\$15,00	\$2,10	Высокая производительность, но дороже.
Meta Llama 3.3 70B	21,5	0,58	128k токенов	\$0,40	\$0,06	Очень экономичный, но медленнее.
Anthropic Claude 3.5 Sonnet	43	1,05	200k токенов	\$6,00	\$0,84	Сбалансированная производительность, умеренная стоимость.
Mistral Mixtral 8x22B	70,5	0,31	65k токенов	\$1,20	\$0,17	Самая высокая скорость, но требует разбивки из-за меньшего контекстного окна.

Таким образом, предлагаемая архитектура использует принципы RAG с добавлением модулей персонализации и геймификации, специфичных для решаемой задачи. Разработка решения сопряжена с рядом сложностей, таких как оптимальный выбор используемых моделей в условиях ограниченности ресурсов, выбор хранилища. Особым вызовом можно назвать обеспечение соответствия решения с потребностями конкретной организации, а также его соответствие принятым нормам и принципам безопасности и этики.

### **Результаты и обсуждение**

Применение ИИ-ассистента на основе RAG-архитектуры в процессе адаптации ИТ-специалистов в сфере интеллектуальных транспортных систем (ИТС) совершенно правомерно порождает ряд вопросов, которые, в основном, могут быть связаны с безопасностью такой системы, а также с соблюдением этическими норм. Очевидно, что защите данных и вопросам конфиденциальности и этики в таких облачных решениях, которые основаны на работе с

большими объемами данных, следует уделять особое внимание.

Непрозрачность ответов, галлюцинирование фактов в диалоговых системах с большими языковыми моделями может вызывать недоверие, а также создавать риски дезинформации, если предоставляемые ответы оказываются некорректными или содержат предвзятость. Кроме того, нельзя допускать ситуации, когда модель будет учиться на конфиденциальных пользовательских данных.

В предложенной архитектуре ключевой упор в обеспечении безопасности конфиденциальных данных делается на использование механизмов анонимизации и строгого контроля доступа к данным [24]. Облачное решение включает многоуровневую систему защиты, которая предусматривает шифрование данных как в состоянии простоя, так и при их передаче, а также реализацию политики минимизации доступа. Это означает, что сотрудники и системы получают доступ только к тем данным, которые необходимы для выполнения их задач. Введение многоуровневой системы защиты, включающей аутентификацию пользователей, шифрование передаваемых данных и управление доступом на основе ролей, является необходимым условием для минимизации рисков утечек и несанкционированного использования информации.

Помимо этого, следует контролировать нецелевое применение языковых моделей с целью получения неэтичной или запрещенной информации, а также фишинговые атаки. Так как, языковые модели обучены на огромном массиве информации, в них могут содержать неэтичные знания, которые не следует выдавать пользователю. Однако, некоторые пользователи намеренно пытаются получить доступ к «скрытым» знаниям модели, применяя различные методики обхода защиты модели. Например, к LLM может быть применена техника «jailbreaking» [25], которая направлена на обход ограничений и получение дополнительных доступов вопреки намерению разработчика. Обычно, такие недостатки устраняются с помощью «alignment» [26] - выравнивание модели под конкретные установки разработчика, или с помощью других техник фильтрации и аудирования запросов.

По мере развития мощности больших языковых моделей, растут и риски, связанные с этикой их использования. Некоторые исследования показали, что LLM могут непреднамеренно выдавать неэтичную информацию в своих ответах, включая предубеждения, дискриминацию и сообщения с токсичным содержанием [27]. Таким образом, в случае адаптации таких технологий к специфическим задачам, как, например, обучение IT-специалистов в ИТС, существует риск воспроизведения нежелательных паттернов в предоставляемых ответах. Это может привести к негативным последствиям, как, например, рост недоверия к компании или судебные иски. Для минимизации такого риска текущее решение предполагает активный мониторинг тренировочных данных, аудит запросов к системе со стороны пользователя и разработка механизма активного выявления и исправления предвзятости ответов LLM. Такой подход позволит свести к минимуму нежелательное поведение системы, что, в свою очередь, обеспечивает соблюдение конфиденциальности и этических норм.

К еще одному направлению, связанному с этическими рисками при использовании LLM в процессе подготовки кадров IT направлений в ИТС, можно отнести сокрытие того факта, что сотрудник общается с человеком, а не «машинной». Необходимо обеспечить полную прозрачность работы системы, а также довести до сотрудника базовый принцип работы решения. Таким образом, сотрудник будет осведомлен о работе с диалоговой системой. Для этого необходимо внедрить обязательное информирование о том, что пользователь имеет дело с ИИ-ассистентом. Такое информирование может быть реализовано с помощью явного уведомления в интерфейсе, например, добавления сообщения или пиктограммы, которая будет сопровождать каждый ответ системы. Также рекомендуется предусмотреть пояснительный текст, который объяснит пользователю, как работает ИИ-ассистент, как он генерирует ответы и какие ограничения могут быть у системы. Такой подход позволит повысить доверие к технологии, минимизировать недоразумения и обеспечить этическое использование системы.

### **Выводы**

На основании проведенного исследования о потенциале внедрения ИИ-ассистента с дополнительными модулями персонализации и геймификации в процесс адаптации IT персонала в сфере ИТС, можно сделать следующие выводы:

- использование RAG архитектур открывает значительный потенциал в сфере создания ИИ-ассистентов в сфере ИТС, т.к. подобные архитектуры позволяют эффективно обрабатывать большие объемы структурированной и неструктурированной информации, делая процесс получения релевантной информации более простым и естественным, ;
- предложенная технология позволит подстроить процесс адаптации в соответствии с потребностями и особенностями сотрудника, что улучшает восприятие информации и ускоряет процесс адаптации;
- интеграция многоуровневой системы защиты данных, включая шифрования, анонимизацию и прочее, позволит значительно снизить риски, связанные с утечкой конфиденциальных данных;
- для минимизации этических рисков предлагается необходимо на постоянной основе проводить аудит запросов, «выравнивание» модели во время обучения, а также поддерживать прозрачные условия для пользователей при работе с ассистентом;
- внедрение RAG-архитектуры, основанных на больших языковых моделях, предоставляет широкие перспективы для адаптации ИТ-специалистов в сфере интеллектуальных транспортных систем, в том числе тех, кто переходит из смежных областей или имеет недостаточный опыт, что в перспективе может оказать положительное влияние на развитие сферы интеллектуальных транспортных систем в частности и транспорта в целом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы: Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 № 203.
2. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.11.2020 № 3170-р.
3. Климов А.А., Куприяновский В.П., Соколов И.А., Заречкин Е.Ю., Куприяновская Ю.В. Цифровые технологии, навыки, инженерное образование для транспортной отрасли и технологии образования // *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. Т. 7. №10. С. 98-127.
4. Новиков А.Н., Еремин С.В., Кулев А.В., Ломакин Д.О. Проблемы внедрения интеллектуальных транспортных систем в регионах. *Мир транспорта и технологических машин*. 2021. №1. Р. 47-54.
5. Свистунов В.М., Богданова Т.В., Лобачёв В.В., Метёлкин П.В. Цифровизация бизнес-процессов в транспортной отрасли России: новые ориентиры менеджмента // *ТДР*. 2022. №1. С. 52–55.
6. Симонова Н.Ю. Основные проблемы адаптации работников как повышение эффективности использования трудового потенциала региона [Электронный ресурс] / *Экономика и управление: опыт и новые решения в эпоху трансформаций*. 2023. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-problemy-adaptatsii-rabotnikov-kak-povyshenie-effektivnosti-ispolzovaniya-trudovogo-potentsiala-regiona>.
7. Lewis P., Perez E. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2020. Vol. 33. P. 9459-9474.
8. Zhang T., Patil S.G., Jain N., Shen S., Zaharia M., Stoica I., Gonzalez J.E. Raft: Adapting language model to domain specific rag, 2024.
9. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: Федеральный закон от 27.07.2006 №149-ФЗ.
10. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»: Постановление Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. №1596.
11. Новиков А.Н., Емельянов И.П., Тарасов А.О., Целесообразность и направления развития интеллектуальных транспортных систем // *Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2020)*. 2020. Р. 147-152.
12. Климова Ю.О. Анализ кадровой обеспеченности отрасли информационных технологий на федеральном и региональном уровнях // *Вестник Омского университета. Серия «Экономика»*. №1. 2020. Р. 126-138.
13. Jo H. Continuance intention to use artificial intelligence personal assistant: type, gender, and use experience // *Heliyon*. 2022. Т. 8. №9.
14. Yi Z., Ouyang J., Liu Y., Liao T., Xu Z., Shen Y. A Survey on Recent Advances in LLM-Based Multi-turn Dialogue Systems. 2024.
15. Kenton J.D.M.W.C., Toutanova L.K. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding // *Proceedings of NAACL-HLT*. 2019. Т. 1. №2.
16. Koroteev M.V. BERT: a review of applications in natural language processing and understanding. 2021.
17. Floridi L., Chiriatti M. GPT-3: Its nature, scope, limits, and consequences // *Minds and Machines*. 2020. Т. 30. С. 681-694.
18. Zeng F., Gan W., Wang Y., Philip S.Y. Distributed training of large language models // *IEEE 29th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*. 2023. С. 840-847.
19. Gao Y., Xiong Y., Gao X., Jia K., Pan J., Bi Y., Dai Y., Sun J., Wang H. Retrieval-augmented generation for large language models.

20. Massive Text Embedding Benchmark (MTEB) Leaderboard [Электронный ресурс]. URL: <https://huggingface.co/spaces/mteb/leaderboard>.
21. Artificial Analysis LLM Performance Leaderboard, ArtificialAnalysis [Электронный ресурс]. URL: <https://huggingface.co/spaces/ArtificialAnalysis/LLM-Performance-Leaderboard>.
22. Chen B., Zhang Z., Langrené N., Zhu S. Unleashing the potential of prompt engineering in Large Language Models: a comprehensive review. 2023.
23. Simpson P., Jenkins P. Gamification and Human Resources: an overview // Brighton: Brighton Business School. 2015. P. 1–6.
24. Ерохин И.И., Бурлачкова Н.С. Обзор методов анонимизации данных // Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции. Т. 3. Калуга: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. С. 130–136.
25. Jailbreaking Large Language Models: A Security Perspective [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/2402.01725>.
26. Aligning AI with Human Intentions through Dynamic Systems [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/2309.15025>.
27. On the Safety and Ethics of Large Language Models [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/2112.04359>.

**Иванов Олег Анатольевич**

Национальный исследовательский университет ИТМО

Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.

Студент

E-mail: testinbox123@mail.ru

**Титоренко Антон Александрович**

Национальный исследовательский университет ИТМО

Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.

Студент

E-mail: antontitorenko01@gmail.com

**Романов Алексей Андреевич,**

Национальный исследовательский университет ИТМО

Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.

К.т.н., доцент Высшей школы цифровой культуры

E-mail: romanov@itmo.ru

**Родичева Ирина Владимировна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

Аспирант

E-mail: irina.rodicheva.rodicheva@yandex.ru

---

O.A. IVANOV, A.A. TITORENKO, A.A. ROMANOV, I.V. RODICHEVA

**AI ASSISTANT FOR THE ADAPTATION OF IT SPECIALISTS  
IN THE ITS FIELD: ISSUES OF RELEVANCE, ARCHITECTURE,  
SECURITY, AND ETHICS IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION  
IN THE TRANSPORT SECTOR**

**Abstract.** *The article discusses the use of a personalized AI assistant based on RAG (Retrieval-Augmented Generation) for the adaptation of IT specialists in the ITS field. The capabilities of the technology, the solution architecture, security and ethics issues are discussed. The use of RAG on domain knowledge sources for the adaptation of employees in the transport industry contributes to digital transformation, advanced training of personnel and sustainable development of ITS in the regions.*

**Keywords:** *intelligent transport systems, digitalization, RAG architecture, AI assistant, adaptation of IT specialists, human resources, domain knowledge, regulatory legal acts, corporate knowledge bases*

**BIBLIOGRAPHY**

1. O Strategii razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossiyskoy Federatsii na 2017-2030 gody: Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 09.05.2017 № 203.
2. Ob utverzhdenii Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda: Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 28.11.2020 № 3170-r.

3. Klimov A.A., Kupriyanovskiy V.P., Sokolov I.A., Zarechkin E.YU., Kupriyanovskaya YU.V. Tsifrovye tekhnologii, navyki, inzhenernoe obrazovanie dlya transportnoy otrasli i tekhnologii obrazovaniya // International Journal of Open Information Technologies. 2019. T. 7. №10. S. 98-127.
4. Novikov A.N., Eremin S.V., Kulev A.V., Lomakin D.O. Problemy vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem v regionakh. Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №1. R. 47-54.
5. Svistunov V.M., Bogdanova T.V., Lobachiov V.V., Metiolkin P.V. Tsifrovizatsiya biznesprotsessov v transportnoy otrasli Rossii: novye orientiry menedzhmenta // TDR. 2022. №1. S. 52-55.
6. Simonova N.YU. Osnovnye problemy adaptatsii rabotnikov kak povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya trudovogo potentsiala regiona [Elektronnyy resurs] / Ekonomika i upravlenie: opyt i novye resheniya v epokhu transformatsiy. 2023. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-problemy-adaptatsii-rabotnikov-kak-povyshenie-effektivnosti-ispolzovaniya-trudovogo-potentsiala-regiona>.
7. Lewis P., Perez E. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // Advances in Neural Information Processing Systems. 2020. Vol. 33. P. 9459-9474.
8. Zhang T., Patil S.G., Jain N., Shen S., Zaharia M., Stoica I., Gonzalez J.E. Raft: Adapting language model to domain specific rag. 2024.
9. Ob informatsii, informatsionnykh tekhnologiyakh i o zashchite informatsii: Federal'nyy zakon ot 27.07.2006 №149-FZ.
10. Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii «Razvitie transportnoy sistemy»: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 20 dekabrya 2017 g. №1596.
11. Novikov A.N., Emel'yanov I.P., Tarasov A.O., Tselesoobraznost' i napravleniya razvitiya intellektual'nykh transportnykh sistem // Sovremennye avtomobil'nye materialy i tekhnologii (SAMIT-2020). 2020. P. 147-152.
12. Klimova YU.O. Analiz kadrovoy obespechennosti otrasli informatsionnykh tekhnologiy na federal'nom i regional'nom urovnyakh // Vestnik Omskogo universiteta. Seriya «Ekonomika». №1. 2020. P. 126-138.
13. Jo H. Continuation intention to use artificial intelligence personal assistant: type, gender, and use experience // Heliyon. 2022. T. 8. №9.
14. Yi Z., Ouyang J., Liu Y., Liao T., Xu Z., Shen Y. A Survey on Recent Advances in LLM-Based Multiturn Dialogue Systems. 2024.
15. Kenton J.D.M.W.C., Toutanova L.K. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding // Proceedings of NAACL-HLT. 2019. T. 1. №2.
16. Koroteev M.V. BERT: a review of applications in natural language processing and understanding. 2021.
17. Floridi L., Chiriatti M. GPT-3: Its nature, scope, limits, and consequences // Minds and Machines. 2020. T. 30. S. 681-694.
18. Zeng F., Gan W., Wang Y., Philip S.Y. Distributed training of large language models // IEEE 29th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS). 2023. S. 840-847.
19. Gao Y., Xiong Y., Gao X., Jia K., Pan J., Bi Y., Dai Y., Sun J., Wang H. Retrievalaugmented generation for large language models.
20. Massive Text Embedding Benchmark (MTEB) Leaderboard [Elektronnyy resurs]. URL: <https://huggingface.co/spaces/mteb/leaderboard>.
21. Artificial Analysis LLM Performance Leaderboard, ArtificialAnalysis [Elektronnyy resurs]. URL: <https://huggingface.co/spaces/ArtificialAnalysis/LLM-Performance-Leaderboard>.
22. Chen B., Zhang Z., Langren N., Zhu S. Unleashing the potential of prompt engineering in Large Language Models: a comprehensive review. 2023.
23. Simpson P., Jenkins P. Gamification and Human Resources: an overview // Brighton: Brighton Business School. 2015. R. 1-6.
24. Erokhin I.I., Burlachkova N.S. Obzor metodov anonimizatsii dannykh // Naukoemkie tekhnologii v priboro- i mashinostroenii i razvitie innovatsionnoy deyatel'nosti v vuze: materialy Vserossiyskoy nauch-no-tekhnicheskoy konferentsii. T. 3. Kaluga: MGTU im. N.E. Bauman, 2018. S. 130-136.
25. Jailbreaking Large Language Models: A Security Perspective [Elektronnyy resurs]. URL: <https://arxiv.org/pdf/2402.01725>.
26. Aligning AI with Human Intentions through Dynamic Systems [Elektronnyy resurs]. URL: <https://arxiv.org/pdf/2309.15025>.
27. On the Safety and Ethics of Large Language Models [Elektronnyy resurs]. URL: <https://arxiv.org/pdf/2112.04359>.

**Ivanov Oleg Anatolievich**  
National Research University ITMO  
Address: 197101, Russia, St. Petersburg  
Student  
E-mail: [testinbox123@mail.ru](mailto:testinbox123@mail.ru)

**Romanov Aleksey Andreevich**  
National Research University ITMO  
Address: 197101, Russia, St. Petersburg  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: [romanov@itmo.ru](mailto:romanov@itmo.ru)

**Titorenko Anton Alexandrovich**  
National Research University ITMO  
Address: 197101, Russia, St. Petersburg  
Student  
E-mail: [antontitorenko01@gmail.com](mailto:antontitorenko01@gmail.com)

**Rodicheva Irina Vladimirovna**  
Orel State University  
Address: Russia, 302020, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Postgraduate student  
E-mail: [irina.rodicheva.rodicheva@yandex.ru](mailto:irina.rodicheva.rodicheva@yandex.ru)

Научная статья

УДК 656.025.2 (470.45-25)

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-121-130

А.В. КУЛИКОВ, А.А. ВАЛЬКОВСКАЯ, А.А. КУЛИКОВ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ТЕЛЕМАТИКИ В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ И ТЕРМИНАЛАХ ЕДИНОЙ УМНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ГОРОДАХ-МИЛЛИОННИКАХ

**Аннотация.** Пассажирские перевозки в городах-миллионниках проходят трансформацию в умных транспортных системах, объемы перевозок классических транспортных систем постоянно сокращаются, на транспортный рынок выходят новые системы и средства передвижения (каршеринг – краткосрочная аренда автомобиля, средства индивидуальной мобильности (СИМ)). Создание единой умной транспортной системы (в городах миллионниках) для перевозок пассажиров, состоящей из умных: автобусов, троллейбусов, трамваев, электропоездов и метрополитена, повысит привлекательность городского пассажирского транспорта (ГПТ). В статье на примере г. Волгограда представлена схема транспортной сети, включающая разработанные мультимодальные транспортно-пересадочные узлы (ТПУ) и терминалы в единой умной транспортной системе г. Волгограда. Приведена классификация различных средств телематики для ГПТ и определены дальнейшие перспективы развития единых умных транспортных систем городов-миллионников России.

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, города-миллионники, классическая транспортная система, единая транспортная система, средства телематики, транспортно-пересадочные узлы, терминалы, городской пассажирский транспорт

### Введение

В России классическая транспортная система, состоящая из автобусов, троллейбусов, трамваев, электропоездов и метрополитена, присутствует только в городах-миллионниках. Появление на транспортном рынке большого количества каршеринга и СИМ, снижает уровень использования населением ГПТ [1]. Создание в умных городах единых умных транспортных систем приведет к новому витку развития городов и транспорта в них, позволит повысить качество жизни городского населения.

Наибольший объем перевозок пассажиров приходится на скоростной подземный транспорт – метрополитен, который достаточно хорошо развит в Москве и Санкт-Петербурге. Наземные виды транспорта соединяют районы городов с центральной частью и выходят в агломерацию.

Эффективная работа ГПТ в городах-миллионниках повысит уровень транспортной мобильности населения. Привлекательность ГПТ можно повысить различными методами: введение системы «бесшовных» перевозок в городах; фиксированная оплата проезда; комфортное передвижение; доступность; короткий временной интервал ожидания транспорта на остановочных пунктах; обеспечение качественного информационного оповещения пассажиров о нахождении транспорта на остановках в интернет-порталах. На примере г. Волгограда рассмотрены преимущества пассажирских перевозок в единой транспортной системе. Рассмотрены крупные ТПУ и разработаны 29 мультимодальных ТПУ, обеспечивающих функционирование всех видов ГПТ с использованием телематических систем. Представлена классификация средств телематики, определены перспективы развития единых умных транспортных систем городов-миллионников России.

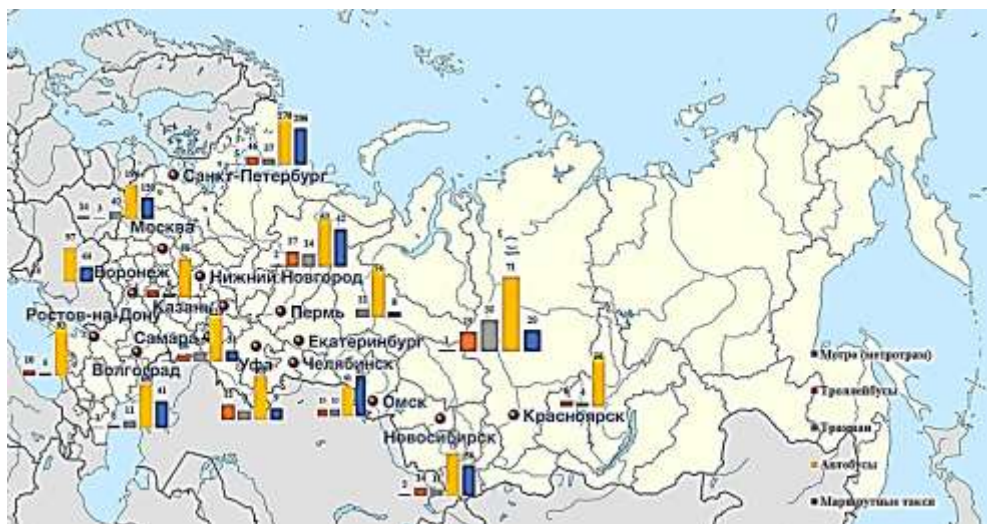
### Материал и методы

В работе применяются методы системного подхода и системного анализа для организации перевозочного процесса пассажиров ГПТ с использованием средств телематики. Для определения границ мультимодальных ТПУ и терминалов применяется графоаналитический

метод. Применяется метод анализа данных, используются сайты официальной статистики, данные Росстата, электронные Яндекс.Карты.

### *Теория / Расчет*

Пассажиры в крупных городах ежедневно пользуются различными видами ГПТ. По различным критериям: стоимость, доступность, количество пересадок, скорость передвижения и комфорт пассажир формирует собственный маршрут следования. Поездки разделяют на три вида: обязательные, связанные с работой или учебой; культурно-бытовые; поездки, связанные с убытием из города на определенное время через различные транспортные терминалы (аэропорт, железнодорожный вокзал, автовокзал). Транспорт для передвижения пассажиров выбирает исходя из его степени развития: количество маршрутов, количество единиц подвижного состава на маршруте, интервалы движения и уровень информационного обеспечения пассажиров. На рисунке 1 представлена характеристика ГПТ городов-миллионников РФ [2].



*Рисунок 1 – Характеристика городского пассажирского транспорта городов-миллионников РФ*

Транспортная система ГПТ городов-миллионников имеет одну и ту же структуру, отличие только у столиц России: Москвы и Санкт-Петербурга, связано это с ежегодно растущим количеством населения и его подвижности.

В таблице 1 представлено количество перевезенных пассажиров различными видами ГПТ в РФ за 2000-2022 гг. по пятилеткам с представлением фактических и прогнозных величин [2, 3].

Таблица 1 – Количество перевезенных пассажиров различными видами ГПТ в РФ за 2000-2022 гг. по пятилеткам

Годы	Объемы перевозок по видам городского пассажирского транспорта, млн. пасс.							
	метрополитен		трамвайный		троллейбусный		автобусный	
	факт	прогноз	факт	прогноз	факт	прогноз	факт	прогноз
2000-2004	21,007	20,86	33,882	33,332	39,512	38,876	109,314	108,314
2005-2009	17,469	17,898	15,304	16,958	16,547	18,484	74,325	77,076
2010-2014	17,019	16,584	9,908	8,266	9,947	8,044	62,646	59,786
2015-2019	16,778	16,918	6,701	7,262	6,886	7,556	55,553	56,44
2019-2024	7,767 (2019-2022)	18,9	2,88 (2019-2022)	13,94	2,399 (2019-2022)	17,02	24,245 (2019-2022)	67,05

Исследование работы ГПТ, проведенное по городам РФ показывает, что объем перевозок пассажиров ежегодно сокращается. По данным статистики наибольшее снижение объемов перевозок пассажиров происходит каждые 5 лет, но в 2022 г. замечен небольшой рост. Объем перевозок пассажиров городским транспортом снизился в 2022 г., по сравнению с 2000 г. на 69,6 %. Данные статистики, позволяют сделать вывод, что доминирующим видом ГПТ в РФ (перевозящим большое количество пассажиров) является автобусный.



Для удовлетворения потребности пассажиров в перемещениях на ГПТ необходимо совершенствовать транспортную систему (наполнить ее информативностью и надежностью функционирования – сделать ее умной): обеспечить регулярность движения транспортных средств, комфортные условия перевозки пассажиров, повысить уровень информирования пассажиров до и в процессе перевозки в мобильных устройствах, на остановке и в транспортном средстве, а также обеспечить возможность использования перехватывающих парковок для пересадки пассажиров с личного транспорта на общественный «бесшовно» [2, 4-6].

Цифровая инфраструктура наземного ГПТ – это множество взаимосвязанных и взаимодействующих цифровых информационных технологий, реализуемых элементами умных городских систем управления пассажирскими перевозками, функционирующих на единой информационной базе нормативно-справочной информации, пространственной и навигационной информации, организованной в рамках баз данных электронного паспорта маршрута и всей сети в целом [7].

Цифровая инфраструктура городских систем управления пассажирским транспортом является необходимым элементом и основой функционирования современной городской системы управления пассажирскими перевозками. На рисунке 2 представлены состав и взаимодействие элементов цифровой инфраструктуры ГПТ [2, 7].

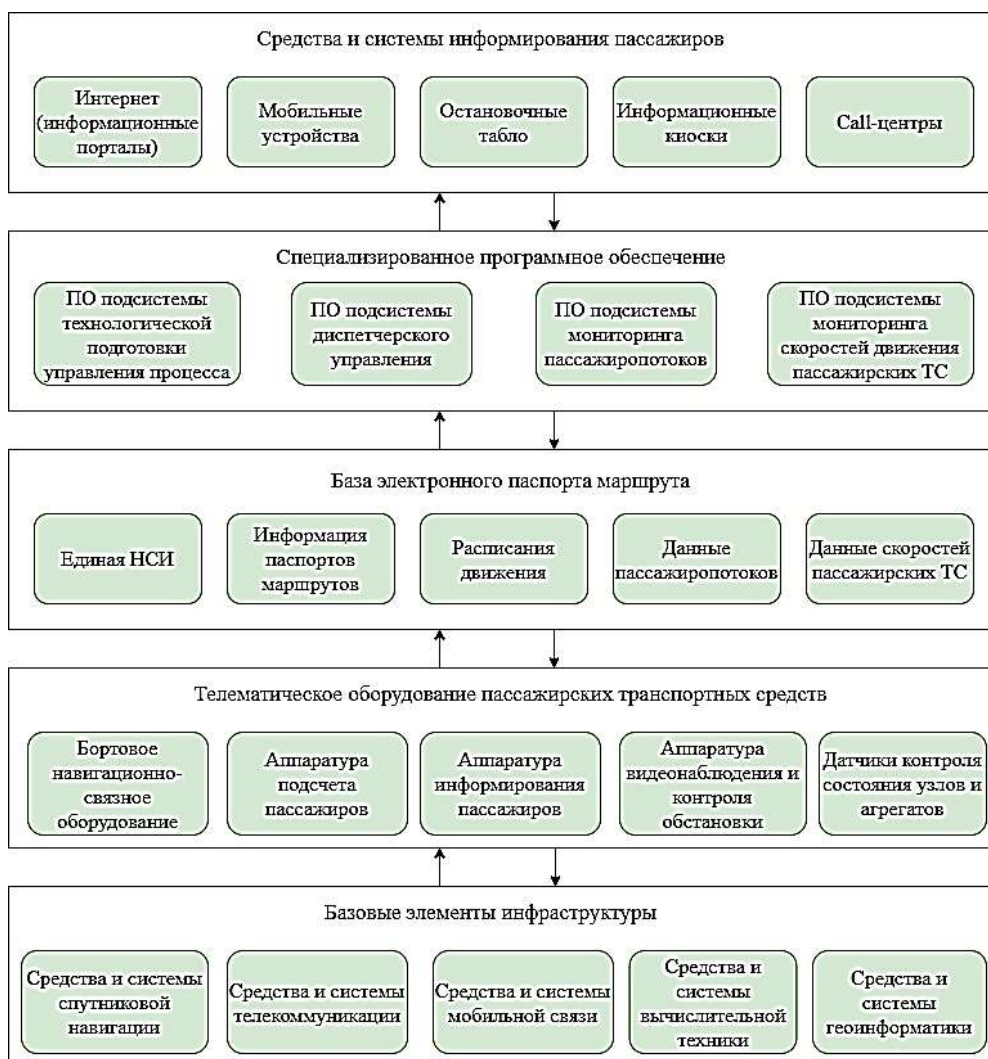
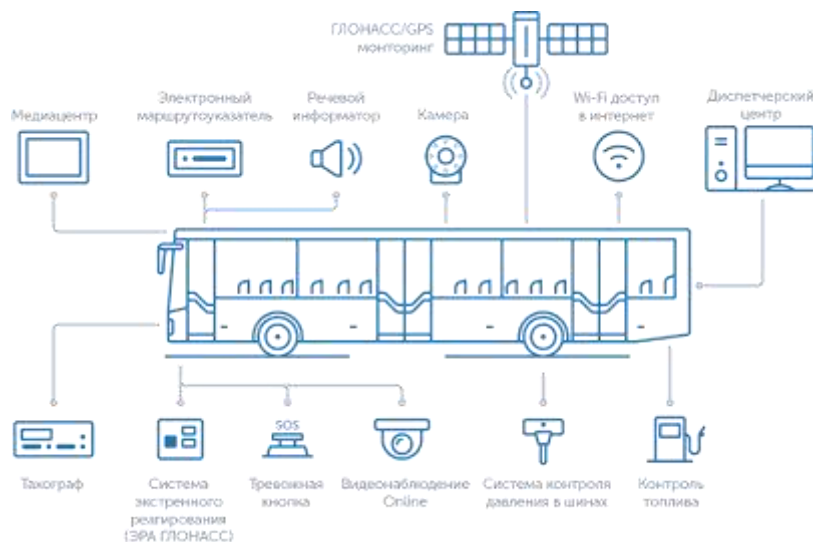


Рисунок 2 – Элементы цифровой инфраструктуры наземного ГПТ и взаимосвязь между ними [4]

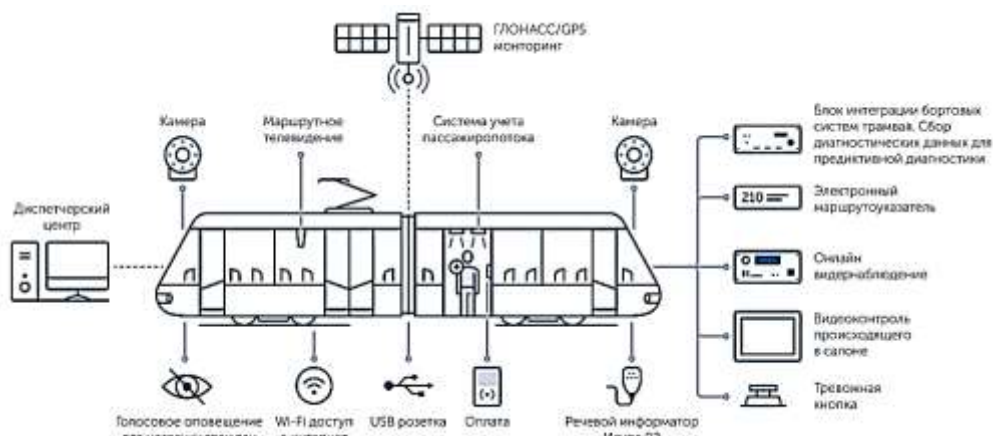
Развитие и широкое распространение элементов цифровой инфраструктуры на ГПТ позволило на новой технологической основе решать ряд задач диспетчерского управления движением пассажирских транспортных средств на маршруте [8-10].

Телематические системы – комплекс взаимосвязанных автоматизированных систем, решающих задачи управления дорожным движением, мониторинга и управления работой всех видов транспорта, информирования граждан и предприятий об организации транспортного обслуживания на территории региона [11, 12].

На ГПТ применяются различные средства телематики: системы навигации и мониторинга; системы оплаты проезда; системы видеонаблюдения; системы аудиоинформирования пассажиров; диспетчерские системы управления и многое др. На примере умного автобуса и умного трамвая представлены схемы оснащения их телематическими системами (рис. 3 и 4) [13].



**Рисунок 3 – Схема оснащения телематическими системами умного автобуса**



**Рисунок 4 – Схема оснащения телематическими системами умного трамвая**

Транспортные системы различных видов ГПТ взаимодействуют в ТПУ. Современные ТПУ – это сложные системы с должным информационным обеспечением. На основе разработанных на территории г. Волгограда ТПУ создана модель мультимодальной транспортной системы. Методика создания ТПУ представлена в статье «Возможность применения телематических систем в узлах взаимодействия пассажирского транспорта города-миллионника на примере г. Волгограда» [3].

Понятие ТПУ и транспортный терминал схожи. Если расстояние от одного остановочного пункта до другого незначительное, то это транспортный терминал, а если остановочные пункты отдалены друг от друга на большое расстояние – ТПУ. В зависимости от значимости транспорта и его передвижений остановочные пункты находятся на определенном расстоянии друг от друга. Для комфортной и доступной пересадки пассажира с одного вида транспорта на другой необходимо организовать быстрый и безопасный переход к необ-

ходимому остановочному пункту, обеспечивающему продолжение «бесшовной» поездки. Согласно разработанной цифровой концепции К(1; 0) интеллектуальной транспортной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации телематические системы фиксируют передвижение пассажиров, присваивают каждой поездке пассажира идентификационную метку и формируют отчет в единую базу данных [14].

В городском пространстве ТПУ представляет собой площадь круговых секторов с меняющимся радиусом от 100 до 600 м. Остановочный пункт основного транспорта является центром узла, с помощью графического метода возможно рассмотреть удаление остановочных пунктов, входящих в выбранный узел и составить полную его характеристику. Расстояние 600 м определяется комфортным передвижением пассажира. На рисунке 5 представлены результаты анализа распределения остановочных пунктов и перехватывающих парковок по предложенным секторам 29 разработанных мультимодальных ТПУ.

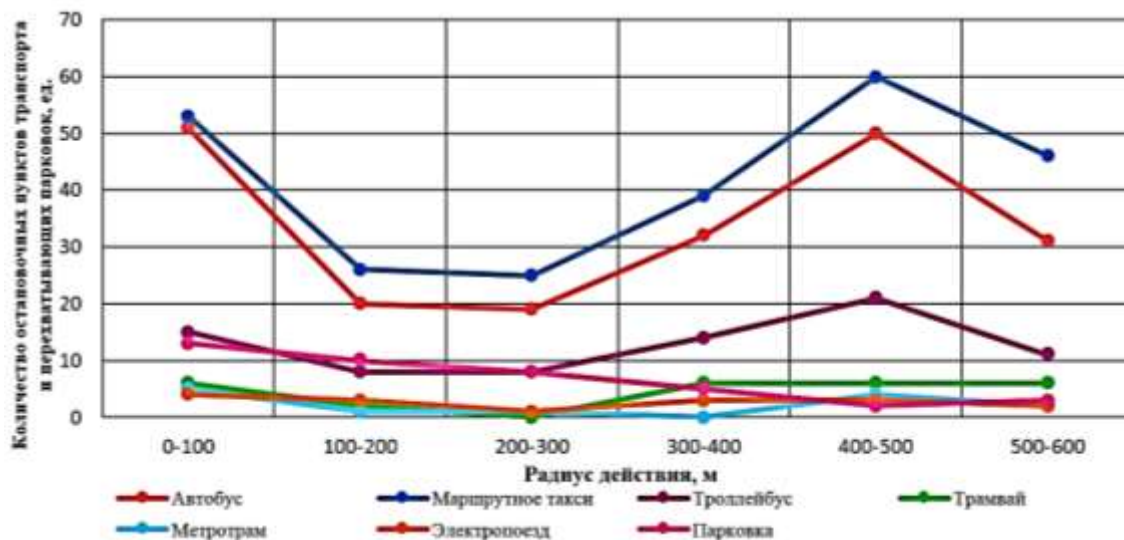


Рисунок 5 – Распределение количества остановочных пунктов и перехватывающих парковок по секторам разработанных мультимодальных ТПУ г. Волгограда

По данным рисунка 5 можно сделать вывод, что размещение остановочных пунктов различных видов транспорта по представленным круговым секторам с плавающим радиусом происходит неравномерно [3]. Полученное распределение является основанием для совмещения остановочных пунктов различных видов транспорта и создания мультимодальных ТПУ. Решение вопроса о перемещении местоположения остановочных пунктов в городских транспортных сетях требует проведения дополнительных исследований.

### Результаты и обсуждение

На примере г. Волгограда можно выделить основные ТПУ, в которых осуществляется взаимодействие различных транспортных систем [2]. На рисунке 6 представлены 29 разработанных основных мультимодальных ТПУ, в которых происходит взаимодействие различных видов ГПТ.

В таблице 2 представлена характеристика разработанной модели мультимодальной транспортной сети г. Волгограда.

Таблица 2 – Результаты распределения количества маршрутов по мультимодальным ТПУ

Наименование транспортной схемы	Год	Количество остановочных пунктов, ед.	Количество мультимодальных ТПУ, ед.	Количество маршрутов в мультимодальных ТПУ, ед.							
				1	2	3	4	5	6	7	8
Маршруты трамвая	2023	108	14	10	2	-	1	1	-	-	-
Маршруты троллейбуса	2023	104	15	3	-	4	3	4	-	-	-
Маршруты электропоезда	2023	43	13	1	-	4	1	1	1	-	5





*Рисунок 6 – Разработанная модель мультимодальной транспортной сети г. Волгограда*

Результирующая таблица 2 представляет собой описание характеристик транспортных систем, в которых рассмотрено общее количество остановочных пунктов, количество совпадающих остановочных пунктов с мультимодальными и распределение количества маршрутов по мультимодальным ТПУ.

В таблице 3 представлен предлагаемый состав основных подвижных элементов цифровой инфраструктуры ГПТ.

Таблица 3 – Предлагаемый состав основных подвижных элементов цифровой инфраструктуры ГПТ

Вид транспорта	Элементы цифровой инфраструктуры
Автобус/Троллейбус	Бортовая видеочкамера; переднее информационное табло; система голосовой связи; датчик уровня топлива; датчики учета пассажиропотока; боковое информационное табло; информационный LCD-дисплей; скрытая «тревожная кнопка»; абонентский терминал M2M-Cyber GLX; датчик открытия-закрытия дверей; WI-FI доступ в интернет; USB-розетка; бесконтактная оплата проезда
Трамвай	Диспетчерский центр; видеочкамеры; маршрутное телевидение; ГЛОНАСС/GPS мониторинг; система учета пассажиропотока; голосовое оповещение для незрячих граждан; WI-FI доступ в интернет; USB-розетка; бесконтактная оплата проезда; речевой информатор; блок интеграции бортовых систем трамвая; электронный маршрутоуказатель; онлайн видеонаблюдение; видеоконтроль происходящего в салоне; тревожная кнопка
Электропоезд	Бортовая система мониторинга технического состояния оборудования электропоезда; кнопка клапан аварийного экстренного торможения; модуль сигналов светофора системы БЛОК; основной информационный монитор; индикация давлений тормозной системы; видеочкамеры; WI-FI доступ в интернет; USB-розетка; датчики учета пассажиропотока

Для комфортного ожидания ГПТ пассажиров на остановочных пунктах в мультимодальных ТПУ необходимо разработать и установить умную остановку, предложенную в статье «Разработка системы принятия решений при проектировании умной остановки в транспортно-пересадочных узлах городского пассажирского транспорта». Умная остановка оснащается современными информационными и телематическими системами. С помощью системного подхода и системного анализа специалистами транспортной отрасли определен и предложен набор элементов умной остановки. В таблице 4 предложены подсистемы, которые должна включать в себя умная остановка.

Таблица 4 – Предлагаемые подсистемы умной остановки

Название подсистемы	Элементы подсистемы
Управление умной остановки	Система освещения, система климат-контроля, система связи умной остановки с диспетчерским центром, системы автоматического распознавания лиц и распознавания голосовых команд
Мониторинг пассажиропотока	Видеокамеры, система учета пассажиров
Обеспечение безопасности	Тревожная кнопка, модуль вызова экстренной помощи
Комфортное ожидание	Wi-Fi оборудование, USB-разъемы для мобильных устройств, вендинговые автоматы, радио, ИК-обогреватели, обогреваемые/необогреваемые скамейки, автоматические раздвижные двери
Информационный обмен	Звуковое оповещение, информационное табло, системы определения загруженности транспорта, видеозэкраны

В таблицах 3 и 4 приведена классификация различных средств телематики для информационного обеспечения элементов единой умной транспортной системы городов-миллионников. На примере г. Волгограда необходимо разработать методику по формированию мультимодальной транспортной сети ГПТ, которая включает мультимодальные ТПУ, оснащенные информационными и телематическими системами, обеспечивающими сбор информации о поездках пассажиров согласно концепции K(1; 0) для дальнейшей трансформации транспортной сети ГПТ по каждому виду транспорта.

### Выводы

В РФ за последние несколько лет происходит снижение пассажиропотока на ГПТ. Наибольшее снижение объемов перевозок пассажиров происходит каждые 5 лет, но в 2022 г. наблюдается небольшой рост. Внедрение цифровой инфраструктуры и телематических систем позволят повысить эффективность работы ГПТ. На транспортный рынок выходят новые системы (например, открытые транспортные системы, предоставляющие информационный сервис по планированию и реализации поездок для пользователей «бесшовно» и позволяющие объединить все виды транспорта в едином цифровом пространстве умного города) и средства передвижения (каршеринг, байкшеринг, кикшеринг, СИМ и др.).

Создание единой умной транспортной системы для перевозок пассажиров, состоящей из умных транспортных средств (автобусов, троллейбусов, трамваев, электропоездов и метрополитенов) и умных остановок, повысит привлекательность ГПТ. В г. Волгограде предлагается организовать 29 мультимодальных ТПУ и разработать эффективную модель мультимодальной транспортной сети ГПТ. В настоящее время трамвайная сеть города содержит 108 остановочных пунктов, из них 14 мультимодальных; троллейбусная – 104 ед., мультимодальных – 15 ед.; электропоезд – 43 ед., мультимодальных – 13 ед.; автобусная – 617 ед., мультимодальных – 29 ед.

В статье приведена классификация различных средств телематики для информационного обеспечения элементов единой умной транспортной системы городов-миллионников. Определены и разработаны подсистемы умной остановки: подсистема управления умной остановки; подсистема мониторинга пассажиропотока; подсистема обеспечения безопасности; подсистема комфортного ожидания и подсистема информационного обмена. Предлагается разработать методику по формированию мультимодальной транспортной сети ГПТ в городах-миллионниках, работающей согласно концепции K(1; 0). Возможность дальнейшей трансформации транспортной сети ГПТ повысит эффективность использования транспорта и обеспечит совмещение интересов пассажиров, перевозчиков и муниципального управления города.

Систему «бесшовных» (мультимодальных) перевозок можно применять не только в городах-миллионниках, но и в остальных крупных городах России, в которых присутствуют различные транспортные системы ГПТ: автобус, трамвай, троллейбус. Для внедрения таких систем необходимо создание ТПУ, терминалов и оснащение транспортных средств телематическим оборудованием, которое дает возможность ускорить выбор маршрута для передвижения, сократить количество пересадок, снизить финансовые и временные затраты пассажиров и выйти на более высокий уровень качественного обслуживания населения крупных городов РФ [15-20].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донченко В.В., Купавцев В.А. Исследование элементов городской инфраструктуры для безопасного передвижения средств индивидуальной мобильности // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2023. Т. 20. №3(91). С. 338-349.
2. Куликов А.В., Миротин Л.Б., Вальковская А.А. Перспективы «бесшовных» перевозок пассажиров в транспортных системах российских городов-миллионников (на примере Волгограда) // Социология города. 2022. №1-2. С. 93-116.
3. Куликов А.В., Вальковская А.А. Возможность применения телематических систем в узлах взаимодействия пассажирского транспорта города-миллионника на примере г. Волгограда // Прогрессивные технологии в транспортных системах: XVIII Международная научно-практическая конференция. Оренбург: ФГБОУ ВО «Оренбургский гос. университет». 2023. С. 224-231.
4. Мохова И.С., Васильченко А.А. Перехватывающие парковки // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: Материалы XV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет. 2021. С. 70-75.
5. Власов Д.Н. Снижение нагрузки на улично-дорожную сеть центральной планировочной зоны от внутригородского транзитного автомобильного транспорта (на примере г. Москвы): дис. ... канд. техн. наук: 18.00.04. Москва, 1999. 211 с.
6. Данилина Н.В., Власов Д.Н. Система транспортно-пересадочных узлов и «перехватывающие» стоянки. Германия: Lap Lambert Academic Publishing, 2013. 81 с.
7. Власов В.М., Ефименко Д.Б., Богумил В.Н. Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем на городском пассажирском транспорте: учебник. Москва: ИНФРА-М, 2021. 352 с.
8. Богумил В.Н., Ефименко Д.Б. Использование моделей цифровой инфраструктуры в системе управления городским пассажирским транспортом // XIV Всероссийская мультikonференция по проблемам управления МКУ-2021. Ростов-на-Дону – Таганрог: Южный федеральный университет. 2021. С. 23-26.
9. Винокуров А.В., Гук Г.А. Интеллектуальные и цифровые технологии в работе городского пассажирского транспорта: современные вызовы // Инженерная наука: проблемы, идеи, перспективы: Материалы Международной научно-технической конференции ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова». Ч. 1. Пермь: ИПЦ Прокрость. 2022. С. 36-39.
10. Егорова И.Н. Цифровые информационные технологии - основа инновационного обслуживания пассажиров различными видами транспорта // Научный взгляд в будущее. 2019. Т. 1. №13. С. 97-103.
11. Власов В.М., Ефименко Д.Б., Богумил В.Н. Транспортная телематика в дорожной области: учебное пособие. Москва: МАДИ, 2013. 80 с.
12. Дорохин С.В., Азарова Н.А., Рудь В.А. Транспортная телематика как единое информационное пространство // Менеджер года: материалы международного научно-практического форума. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. С. 33-38.
13. ЕМ-Групп. Компоненты и технологии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.euromobile.ru/>.
14. Куликов А.В. Цифровая концепция интеллектуальной транспортной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации // XVI Всероссийская мультikonференция по проблемам управления (МКУ-2023): материалы мультikonференции. В 4 т. Т. 4. Волгоград: ВолГТУ. 2023. С. 215-220.
15. Куликов А.В., Советбеков Б., Сайидкамолов И.Р.У. Совершенствование организации перевозок пассажиров на городских маршрутах общественного транспорта за счет эффективного формирования маршрутной сети // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2021. Т. 21. №8. С. 51-57.
16. Ткаченко Я.О., Куликов А.В. Совершенствование организации работы автобусов малой и большой вместимости различной формы собственности на пригородном маршруте № 149 «Городище – Спартановка» города волгограда // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. №6(32). С. 58-61.
17. Куликов А.В., Карагодина А.Н. Результаты влияния смены формы собственности перевозчика на муниципальную маршрутную сеть пассажирского транспорта малых городов // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2016. №5(17). С. 26-31.

18. Куликов А.В., Фирсова С.Ю., Горина В.В. Совершенствование пассажирских перевозок в центральной части города Волгограда // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2015. Т. 10. №4(162). С. 78-83.

19. Куликов, А. В. Состояние пассажирских перевозок в Волгограде и мероприятия по их совершенствованию / А. В. Куликов, Р. Я. Кашманов, А. Н. Карагодина // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2014. – Т. 9, № 19(146). – С. 58-61.

20. Скобелев Ю.В., Куликов А.В., Деев И.А. Исследование качества обслуживания пассажиров, перемещающихся в пригородном и междугородном направлениях города Волгоград // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2014. Т. 8. №3(130). С. 96-98.

**Куликов Алексей Викторович**

Волгоградский государственный технический университет

Адрес: 400005, Россия, г. Волгоград, ул. Ленина, 28

К.т.н., доцент кафедры «Автомобильные перевозки»

E-mail: v2xoda@ya.ru

**Вальковская Анна Аловсатовна**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

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

Магистрант

E-mail: anna.valkovskay2000@yandex.ru

**Куликов Андрей Алексеевич**

Волгоградский государственный технический университет

Адрес: 400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28

Студент

E-mail: UncherYT@yandex.ru

---

A.V. KULIKOV, A.A. VALKOVSKAY, A.A. KULIKOV

## **THE USE OF TELEMATICS TOOLS IN TRANSPORT HUBS AND TERMINALS OF THE UNIFIED SMART PASSENGER TRANSPORTATION SYSTEM IN THE CITIES OF MILLIONS**

**Abstract.** *Passenger transportation in cities with millions of people is undergoing transformation in smart transport systems, the volume of transportation of classic transport systems is constantly decreasing, new systems and means of transportation are entering the transport market (carsharing – short-term car rental, means of individual mobility). The creation of a unified smart transport system (in cities with millions of people) for passenger transportation, consisting of smart buses, trolleybuses, trams, electric trains and subways, will increase the attractiveness of urban passenger transport. Using the example of Volgograd, the article presents a scheme of the transport network, including the developed multimodal transport hubs and terminals in the unified smart transport system of Volgograd. The classification of various telematics tools for urban passenger transport is given and further prospects for the development of unified smart transport systems of Russian cities are determined.*

**Keywords:** *passenger transportation, cities with millions of inhabitants, classical transport system, unified transport system, telematics facilities, transport hubs, terminals, urban passenger transport*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Donchenko V.V., Kupavtsev V.A. Issledovanie elementov gorodskoy infrastruktury dlya bezopasnogo peredvizheniya sredstv individual'noy mobil'nosti // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2023. T. 20. №3(91). S. 338-349.

2. Kulikov A.V., Mirotin L.B., Val'kovskaya A.A. Perspektivy «besshovnykh» perevozok passazhirov v transportnykh sistemakh rossiyskikh gorodov-millionnikov (na primere Volgograda) // Sotsiologiya goroda. 2022. №1-2. S. 93-116.

3. Kulikov A.V., Val'kovskaya A.A. Vozmozhnost' primeneniya telematicheskikh sistem v uzlakh vzaimodeystviya passazhirskogo transporta goroda-milionnika na primere g. Volgograda // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: XVIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Orenburg: FGBOU VO «Orenburgskiy gos. universitet». 2023. S. 224-231.



4. Mokhova I.S., Vasil'chenko A.A. Perekhvatyvayushchie parkovki // Molodezh' i nauchno-tekhnicheskiy progress v dorozhnoy otrasli yuga Rossii: Materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2021. S. 70-75.
5. Vlasov D.N. Snizhenie nagruzki na ulichno-dorozhnyuyu set' tsentral'noy planirovochnoy zony ot vnutrigorodskogo tranzitnogo avtomobil'nogo transporta (na primere g. Moskvy): dis. ... kand. tekhn. nauk: 18.00.04. Moskva, 1999. 211 s.
6. Danilina N.V., Vlasov D.N. Sistema transportno-peresadochnykh uzlov i «perekhvatyvayushchie» stoyanki. Germaniya: Lap Lambert Academic Publishing, 2013. 81 s.
7. Vlasov V.M., Efimenko D.B., Bogumil V.N. Primenenie tsifrovoy infrastruktury i telematicheskikh sistem na gorodskom passazhirskom transporte: uchebnik. Moskva: INFRA-M, 2021. 352 s.
8. Bogumil V.N., Efimenko D.B. Ispol'zovanie modeley tsifrovoy infrastruktury v sisteme upravleniya gorodskim passazhirskim transportom // XIV Vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya MKPU-2021. Rostov-na-Donu - Taganrog: YUzhnyy federal'nyy universitet. 2021. C. 23-26.
9. Vinokurov A.V., Guk G.A. Intellektual'nye i tsifrovye tekhnologii v rabote gorodskogo passazhirskogo transporta: sovremennyye vyzovy // Inzhenernaya nauka: problemy, idei, perspektivy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii FGBOU VO «Permskiy gosudarstvennyy agrarno-tekhnologicheskii universitet imeni akademika D. N. Pryanishnikova». CH. 1. Perm': IPTS Prokrost. 2022. S. 36-39.
10. Egorova I.N. Tsifrovye informatsionnye tekhnologii - osnova innovatsionnogo obsluzhivaniya passazhirov razlichnymi vidami transporta // Nauchnyy vzglyad v budushchee. 2019. T. 1. №13. S. 97-103.
11. Vlasov V.M., Efimenko D.B., Bogumil V.N. Transportnaya telematika v dorozhnoy oblasti: uchebnoe posobie. Moskva: MADI, 2013. 80 s.
12. Dorokhin S.V., Azarova N.A., Rud' V.A. Transportnaya telematika kak edinoe informatsionnoe prostranstvo // Menedzher goda: materialy mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet im. G.F. Morozova, 2021. S. 33-38.
13. EM-Grupp. Komponenty i tekhnologii [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.euromobile.ru/>.
14. Kulikov A.V. Tsifrovaya kontseptsiya intellektual'noy transportnoy sistemy passazhirskogo transporta megapolisa i ego aglomeratsii // XVI Vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya (MKPU-2023): materialy mul'tikonferentsii. V 4 t. T. 4. Volgograd: VolGTU. 2023. S. 215-220.
15. Kulikov A.V., Sovetbekov B., Sayidkamolov I.R.U. Sovershenstvovanie organizatsii perevozok passazhirov na gorodskikh marshrutakh obshchestvennogo transporta za schet effektivnogo formirovaniya marshrutnoy seti // Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta. 2021. T. 21. №8. S. 51-57.
16. Tkachenko YA.O., Kulikov A.V. Sovershenstvovanie organizatsii raboty avtobusov maloy i bol'shoy vmeshtimosti razlichnoy formy sobstvennosti na prigorodnom marshrute № 149 «Gorodishche – Spartanovka» gorodavolgograda // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2017. T. 5. №6(32). S. 58-61.
17. Kulikov A.V., Karagodina A.N. Rezul'taty vliyaniya smeny formy sobstvennosti perevozchika na munitsipal'nyuyu marshrutnyuyu set' passazhirskogo transporta malyykh gorodov // Energo- i resursoberezhenie: promyshlennost' i transport. 2016. №5(17). S. 26-31.
18. Kulikov A.V., Firsova S.YU., Gorina V.V. Sovershenstvovanie passazhirskikh perevozok v tsentral'noy chasti goroda Volgograda // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy. 2015. T. 10. №4(162). S. 78-83.
19. Kulikov, A. V. Sostoyanie passazhirskikh perevozok v Volgograde i meropriyatiya po ikh sovershenstvovaniyu / A. V. Kulikov, R. YA. Kashmanov, A. N. Karagodina // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy. - 2014. - T. 9, № 19(146). - S. 58-61.
20. Skobelev YU.V., Kulikov A.V., Deev I.A. Issledovanie kachestva obsluzhivaniya passazhirov, pere-meshchayushchikhsya v prigorodnom i mezhdugorodnom napravleniyakh goroda Volgograd // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy. 2014. T. 8. №3(130). S. 96-98.

**Kulikov Alexey Viktorovich**

Volgograd State Technical University  
Address: 400005, Russia, Volgograd, Lenin str., 28  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: v2xoda@ya.ru

**Kulikov Andrey Alekseevich**

Volgograd State Technical University  
Address: 400005, Russia, Volgograd, Lenin str., 28  
Student  
E-mail: UncherYT@yandex.ru

**Valkovskaya Anna Alovsatovna**

Moscow State Automobile and Road Technical University  
Address: 125319, Russia, Moscow, 64 Leningradsky ave  
Graduate student  
E-mail: anna.valkovskaya2000@yandex.ru

Научная статья

УДК 004.658.6

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-131-137

Т.Е. МЕЛЬНИКОВА, С.Е. МЕЛЬНИКОВ, Е.А. ЛАПШОВ

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОКЧЕЙНА В ТЕХНОЛОГИЯХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

**Аннотация:** в статье рассмотрены блокчейн технологии, как совокупность инновационного инструментария способная к интеграции с действующим инструментарием логистики и созданию новых методов управления цепочками поставок. Проанализирована и выявлена реальная необходимость применения технологии блокчейн в качестве инструментария логистики. Проанализирован термин «цифровая экономика», который был сформулирован в Распоряжении Правительства РФ № 1632-р, с действительным определением блокчейна и криптовалют. Предложены изменения в нормативно-правовые акты, регулирующие использование технологий блокчейн для обеспечения эффективного и безопасного функционирования их в финансовой системе страны.

**Ключевые слова:** логистика, блокчейн, криптовалюта, блокчейн-технология, децентрализация, смарт-контракт

### **Введение**

Логистика как сфера деятельности и совокупность бизнес-процессов в данный момент находится на своем новом этапе развития, в котором от менеджеров, владельцев бизнесов и экспертов требуется развитие новых методов работы и высокая адаптивность к внешним условиям. На сегодняшний день сфера логистики претерпевает существенные и глобальные изменения, вынуждающие менеджеров, директоров, владельцев бизнеса пересматривать привычный подход, привычный инструментарий [1]. Одними из центральных проблем являются – отсутствие возможности четкого прогнозирования, повышение угрозы безопасности для потока финансов и документов, вынужденный поиск более дешевых и при этом более эффективных it-решений, в некоторых случаях эти решения создаются практически с нуля. Отдельными пунктами можно выделить усложнение текущих цепей поставок, частичное нарушение работы старых, сложности оплаты физическим и юридическим лицам других стран. Из усложнения цепей поставок также вытекает вопрос потери прозрачности – то есть из-за необходимости поиска новых поставщиков, новых брокеров, увеличения числа посредников становится намного сложнее отслеживать процессы перевозки и иные смежные процессы.

Вопрос мошенничества, осуществляемого злоумышленниками на всех этапах движения материального, финансового, информационного потоков остро стоит на повестке дня. Такие случаи обычно сложны тем, что часто крайне сложно предупредить момент совершения преступления, а самое главное – отследить этот момент в режиме реального времени для осуществления оперативного решения ситуации [2]. Речь идет о всевозможной подделке и незаконной коррекции документов, нарушении сроков и порядка уплаты.

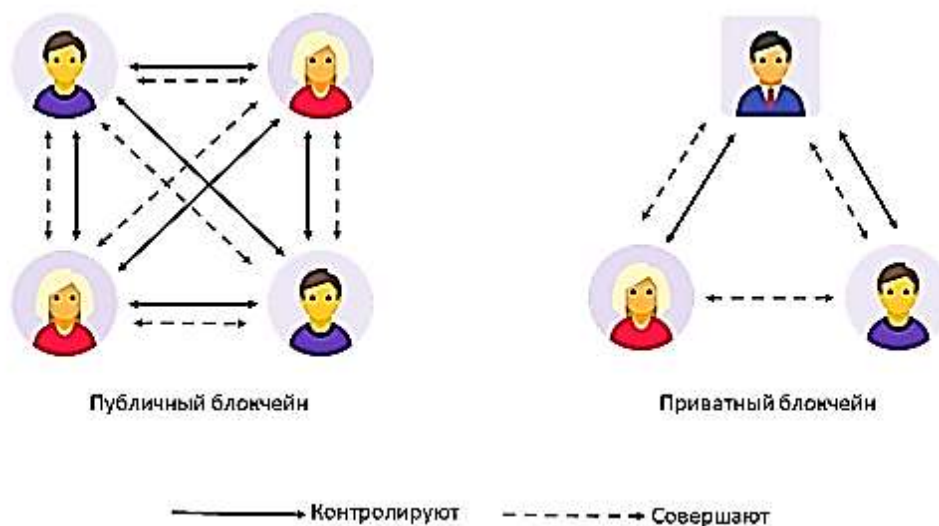
### **Материал и методы**

Логистика в нашей стране и в мире несмотря на то, что существует как отдельная сфера уже достаточно давно, а развитие современных технологий продолжается каждый день, наполнена немалым количеством проблем, которые, казалось бы, эти современные технологии должны решать. Например, Правительством РФ 28 июля 2017 года утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации», которая обязалась создавать условия и устранять препятствия для развития высокотехнологических бизнесов, а также способствовать внедрению современных технологий в традиционные отрасли экономики [3].

Цифровая экономика – экономическая деятельность, основанная на цифровых технологиях и инновационных решениях, которые являются базовыми производственными факторами и обеспечивают более высокую эффективность бизнеса. Особенности цифровой экономики включают в себя: концентрацию экономической деятельности на платформах, интегрирование, то есть некое совмещение реального и виртуального пространства, сведение к минимуму числа посредников, упрощение связи между покупателями, продавцами и иными участниками экономических процессов [4]. Реализация особенностей цифровой экономики осуществляется путем развития соответствующих информационных технологий и создания информационной инфраструктуры. Некоторые источники также включают в понятие цифровой экономики такие термины как криптовалюта и блокчейн. Стоит заметить, что в рамках действующей экономической среды в нашей стране эти понятия не задействуются полноценно, а иногда не задействуются вовсе. Это происходит из-за большой сложности законодательного регулирования и из-за опасений некоторых крупных представителей финансового сектора получить отток средств. Если быть точнее, то вопрос регулирования работы блокчейна и криптовалют в нашей стране рассматривается, например, в законе о цифровых финансовых активах и цифровой валюте, в котором запрещается оборот криптовалюты, а именно – оплата товаров и услуг, но допускается инвестирование.

### ***Теория и расчет***

Блокчейн по своей сути является набором математических алгоритмов, работа которых осуществляется на базе написанного программного кода – это техническая часть. Он представляет совокупность блоков, то есть наборов информации, обособленных друг от друга, но связанных в единую цепочку. Каждый такой блок появляется разными способами в зависимости от заданного алгоритма в конкретном блокчейне [5]. Вытекающим понятием из блокчейна является криптовалюта – цифровая валюта, работа которой осуществляется блокчейном, на котором она работает, действуя в некой синергии. Важно отметить, что в данном контексте термин «цифровая валюта» используется в ином понимании, нежели, например, «цифровой рубль», который планируется к выпуску Центральным Банком РФ, ведь криптовалюта, в отличие от цифрового рубля, существует только в электронной форме и напрямую, в большинстве случаев, не имеет привязки к иным физическим активам. Особенность действия системы блокчейна и криптовалюты обуславливается такой наукой как криптография. Криптография – наука о преобразовании информации и методах шифрования данных [6]. Дело в том, что блокчейн является абсолютно открытой и отслеживаемой системой, в которой любое действие любого участника этой системы можно наблюдать в режиме реального времени. И при такой прозрачности эта система обеспечивает высочайший уровень безопасности. За этот вопрос отвечает основной принцип криптографии.



*Рисунок 1 – Схема публичного и приватного блокчейна*

Владелец информации с помощью определенного ключа шифрования превращает эту информацию в абсолютно нечитаемую для тех, у кого нет этого ключа, далее отправляет эту информацию получателю, который вместе с информацией получает ключ дешифрования, с помощью которого превращает информацию в читаемую. То есть доступ к данным есть только у владельца ключа (рис. 1).

Еще одна важная особенность – блокчейн является полностью децентрализованным, то есть действует напрямую. Это означает, что его участники обмениваются данными напрямую, оплачивая лишь внутреннюю комиссию сети блокчейна, не используя никаких других посредников. А сами данные, к слову, не могут быть удалены или изменены, а их хранение осуществляется на постоянной основе (рис. 2).



Рисунок 2 – Отличие центральной сети от блокчейна

Вышеописанные факторы напрямую влияют на непосредственную безопасность процессов в логистике. Как пример – информация о перевозимом грузе заключается в блок и шифруется отправителем, весь процесс перевозки эта информация надежно сохраняется от изменения, доступ к ней имеют строго обозначенные лица, ко всему прочему, она обновляется в режиме реального времени, а затем доходит до получателя, который дешифрует ее. А затраты на внедрение такой технологии практически минимальны [7]. Эта технология применима в первую очередь к документообороту и позволит существенно ускорить, оптимизировать, упростить и обезопасить его, в том числе речь идет об электронном документообороте.

### Результаты и обсуждение

Смарт-контракт, которые сначала использовались с целью контроля за криптовалютными операциями сейчас активно использует блокчейн. Смарт-контракт – это самоисполняемый алгоритм, позволяющий использовать вышеупомянутую технологию криптографии на практике, представляющий собой программное решение на одном из языков программирования и действующий на той или иной вычислительной системе [8]. Первое полноценное использование смарт-контрактов в блокчейне на практике произошло в блокчейне Ethereum в 2013 году, и до сих пор Ethereum остается главным блокчейном по использованию и развитию этой технологии. Именно эта технология и обеспечивает эффективную работу и безопасность сети и способна найти применение в огромном количестве сфер – от бизнеса и логистики, цифровизации информационных потоков и финансовых взаиморасчетов между всеми участниками цепи поставок социальнозначимых товаров [9]. Примером может служить использование системы контроля внешнеторговых операций на условиях CIF (рис. 3).

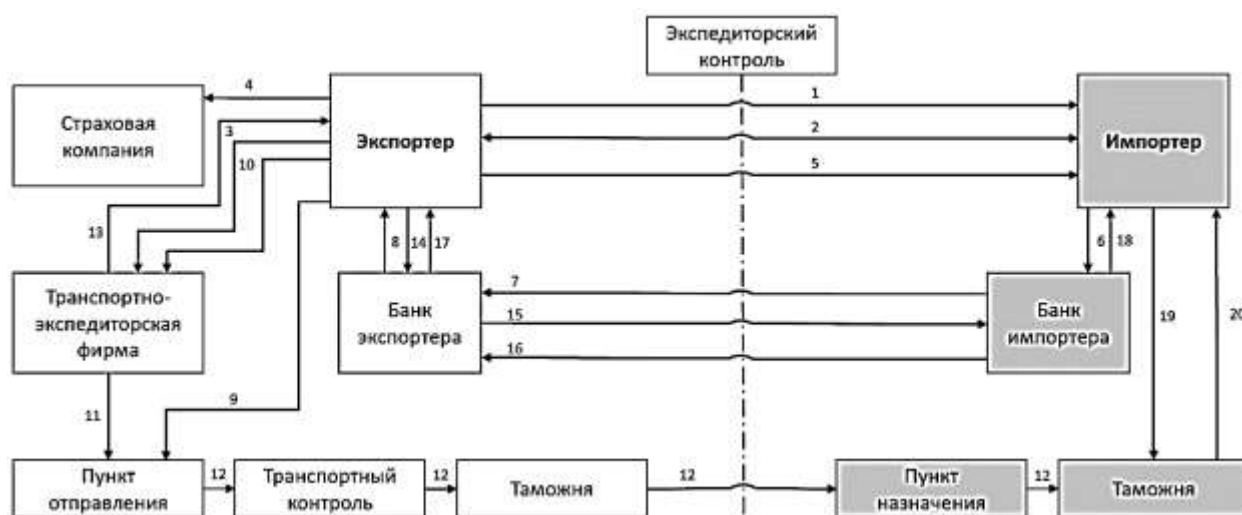


Рисунок 3 – Операции по перевозке грузов на условиях CIF

Вопрос безопасности можно затронуть и в сделках по переводу средств, блокчейн и криптовалюта способны на обслуживание любых видов сделок. Главными отличиями от привычных способов оплаты являются: моментальная скорость, в то время как банк может обрабатывать платежи до нескольких дней, адаптивность к условиям платежа – средства могут быть автоматически переведены при наличии факта принятия поставки, могут быть отправлены частично, заморожены на нейтральном счете существует множество вариаций. Нельзя забывать и о том, что криптовалюта полностью решает вопрос с трудностями оплаты в валюте – несмотря на то, что всем известный Bitcoin является крайне волатильным и не способен выполнять функции стабильного способа оплаты, существуют так называемые стейблкоины – это вид криптовалют с нулевой волатильностью, курс которых привязан к курсу действующей национальной валюты – доллара США, ликвидность которых в полном объеме обеспечена средствами на счетах компании, осуществляющей эмиссию. Использование этой криптовалюты позволит совершать транзакции с фиксированным курсом, исключая таким образом неудобства для сторон сделки. Это далеко не все преимущества использования данной технологии [9]. Различные блокчейны открыты к разработке для всех желающих программистов и предпринимателей, что позволяет им создавать на блокчейнах различные сервисы и инструменты. Такие сервисы называются dApps.

dApp – это сервис, инструмент, программное обеспечение созданный на базе блокчейна, способный содержать в себе настраиваемый и широкоформатный функционал, взаимодействующий со всеми элементами системами и способный к интеграции с любым инструментом блокчейна, либо с любым привычным программным обеспечением. Как правило это сервисы аналитики, прогнозирования, отслеживания финансов, безопасности. На сегодняшний день особую популярность приобретают сервисы с интегрированным искусственным интеллектом, который используется как для решения повседневных задач программистов и пользователей, так и для сложных инновационных проектов. В сфере логистики на данный момент существует множество подобных сервисов, а крупные компании, такие как X5 Retail Group, активно внедряют инструменты с искусственным интеллектом в свои задачи [11]. Использование технологий блокчейна позволит существенно снизить затраты в этой области и даст намного большую кастомизацию для сервисов – то есть сервисы на блокчейне априори являются более настраиваемыми и адаптивными, а также упрощают работу с базами данных. Основной сложностью для внедрения таких инструментов является тот факт, что рынок блокчейн-технологий все еще не изучен российскими бизнесами, доверие пока не находится на должном уровне, а использование криптовалют при операциях с данными сервисами еще недостаточно регламентировано в российском законодательстве [12].

Еще одним вопросом, который способны решить блокчейн-технологии становится

вопрос инвестиций. Одним из стабильных и доходных использований средств компаний является использование протоколов ликвидности. Протокол ликвидности – автоматизированный протокол на базе блокчейна, использующий средства инвесторов для получения прибыли и распределения ее в дальнейшем между инвесторами. То есть, по своей сути, протокол ликвидности – некий аналог банковского вклада, в котором деньги вкладчиков автоматически инвестируются, а в дальнейшем возвращаются с процентами. Протокол в данном случае – технический термин, обозначающий программное обеспечение или отдельную площадку для инвестиций. Получение прибыли осуществляется механизмами, выбранными разработчиками протокола, где-то это происходит за счет предоставления займов, где-то используется автоматизированная торговля, а где-то разработчики делают упор на венчурные и иные виды инвестиций. Сейчас на рынке присутствует технология, позволяющая предоставлять вкладчикам в протоколы ликвидности аналоговые токены, которые в дальнейшем вкладчик может использовать для операций в блокчейне (аналоговый токен – некая валюта, которая предоставляется вкладчику взамен вложенных средств, имеющая ценность в ограниченном наборе инвестиционных проектов), либо реинвестировать в смежные протоколы ликвидности. Выбор очень широкий, есть и протоколы с высоким риском, но с высокой доходностью, а есть протоколы с использованием ранее упомянутых стейблкоинов с минимальным риском и умеренной доходностью [13]. Для компании это может стать отличным вариантом использования свободных средств, особенно если компания планирует использование и иных технологий блокчейна, в синергии это будет максимально эффективным вариантом взаимодействия, то есть наличие криптовалюты у компании при условии того, что она внедряет одну или несколько из технологий блокчейна, может в разы увеличить набор инструментов работы и повысить финансовую выгоду от использования). От банковских вкладов и удержаний средств на счетах протоколы отличаются тем, что позволяют получать более высокую доходность, более свободно распоряжаться средствами, не говоря уже о разнообразии предоставляемых вариантов вложений средств. Множество компаний, если это представляется возможным, стремятся к концепции минимизации запасов, то есть высвобождению средств, для дальнейшего более эффективного их использования [14].

Вопрос законодательного регулирования по внедрению блокчейна и криптовалют в инструментарий логистики на сегодняшний день остается не решенным. Необходимо разработать новый законопроект, который включался бы в себя: порядок осуществления операций внутри блокчейна для физических и юридических лиц, требования к используемой криптовалюте, требования к разрываемым смарт-контрактам, порядок предоставления и ведения финансовой отчетности по операциям внутри блокчейна в налоговые органы, перечень одобренных инструментов инвестирования и взаимодействия с блокчейном, формирование специальной комиссии по контролю обращения криптовалют и операций с блокчейном, либо делегирование подобных полномочий уже существующему органу контроля. Вопрос криптовалют и их контроля также должен быть поставлен в федеральной комиссии по рынку ценных бумаг России (ФКЦБ). Для минимизации осуществления спекуляции криптовалютами, разумным решением будет введение обязательной сертификации и лицензирования компаний по обмену криптовалют, ведение списка организаций, имеющих право на осуществление такой деятельности. Подобные изменения смогут помочь государству осуществлять четкий контроль над работой блокчейна и его механизмов, при этом не нарушая самого смысла работы, это даст возможность крупным компаниям, индивидуальным предпринимателям, физическим лицам и так далее, задействовать блокчейн и криптовалюты в своей работе.

### **Выводы**

Блокчейн и его технологии хоть и остаются для многих загадкой и отраслью с минимальной степенью доверия, сохраняют огромный потенциал к использованию в реальных условиях. Приток средств в отрасль продолжает расти, все большее количество транснациональных корпораций и других компаний, регуляторов и правительств разных стран признают существующую тенденцию. Подробное изучение инструментария, партнерская работа круп-

ных компаний и правительства нашей страны, появление новых специалистов в этой отрасли способны привести к новому витку развития логистики и бизнеса в нашей стране.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мельникова Т.Е., Мельников С.Е., Макурина В.М., Кахраманова С. Проблемы создания регуляторной базы в процессе цифровизации автоперевозок // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2021. №9. С. 49-52. DOI 10.36535/0236-1914-2021-09-9. EDN NLLPSA.
2. Ефименко Д.Б., Демин В.А., Комкова Д.А., Герами В.Д. Методика выбора технологии грузообработки для складов электронной торговли // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №2(81). С. 119-125. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(81)-119-125. EDN DFHLBN.
3. Полешкина И.О., Васильева Н.В. Технология BLOCKCHAIN как инструмент управления цепями поставок с участием воздушного транспорта // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2020. Т. 23. №2. С. 72-86. DOI 10.26467/2079-0619-2020-23-2-72-86. EDN OCBSHG.
4. Poleshkina I. Blockchain in Air Cargo: Challenges of New World // Information Technologies and Management of Transport Systems: the VII International Scientific and Practical Conference (ITMTS 2021). Orel. DOI: 10.1051/mateconf/202134100021.
5. Perboli G., Musso S., Rosano M. Blockchain in Logistics and Supply Chain: A Lean Approach for Designing Real-World Use Cases // IEEE Access. 2018. Vol. 6. P. 62018-62028. DOI 10.1109/ACCESS.2018.2875782. EDN WWSLHR.
6. Леонтьев С.М. Блокчейн и криптовалюты: применение технологии блокчейн за пределами финансовой сферы и новые модели бизнеса // Вестник магистратуры. 2023. №7(142). С. 100-101. EDN ZOZSBG.
7. Саяков Д.А. Роль криптографии в развитии национальной цифровой валюты: защита данных и преимущества использования технологии блокчейн // Проблемы автоматизации и управления. 2024. №1(49). С. 61-69. EDN SHVJJK.
8. Танчинец П.П. Применение технологии блокчейн и смарт-контрактов для оптимизации и автоматизации таможенных операций // Молодежный вектор таможни. 2023. №3(6). С. 45-48. EDN VYJBSO.
9. Ефемов А.С., Полешкина И.О. Технология блокчейн: перспективный инструмент отслеживания доставки грузов «Северного завоза» // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-5(78). С. 78-87. DOI 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-78-87. EDN ZSBRFV.
10. Петренко А.С., Петренко С.А., Костюков А.Д. Эталонная модель блокчейн-платформы // Защита информации. Инсайд. 2022. №4(106). С. 34-44. EDN ADUTEL.
11. Панюкова В.В. Международный опыт применения технологии блокчейн при управлении цепями поставок // Экономика. Налоги. Право. 2018. Т. 11. №4. С. 60-67. DOI 10.26794/1999-849X-2018-11-4-60-67. EDN XWIENJ.
12. Сулайманова Ч.Н., Маликов А.М. Блокчейн в залоговых правоотношениях: инновации и правовое регулирование // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2024. Т. 24. №3. С. 112-116. DOI 10.36979/1694-500X-2024-24-3-112-116. – EDN BLUUXL.
13. Митряев И.С., Лысенко Е.С., Острякова А.Ф. Технология блокчейн и криптовалюта: инструменты цифровой трансформации // Аграрное и земельное право. 2022. №4(208). С. 132-137. DOI 10.47643/1815-1329\_2022\_4\_132. EDN SFCGYD.
14. Kummer S., Herold D.M., Dobrovnik M., Mikl J., Schäfer N. A. Systematic review of blockchain literature in logistics and supply chain management: Identifying research questions and future directions // Future Internet. 2020. Vol. 12(3). P. 60.

**Мельникова Татьяна Евгеньевна**

Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)  
Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский пр-т, 64  
К.т.н., доцент кафедры правового и таможенного регулирования на транспорте  
E-mail: kicha78@yandex.ru

**Мельников Сергей Евгеньевич**

Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)  
Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский пр-т, 64  
К.ю.н., доцент кафедры правового и таможенного регулирования на транспорте  
E-mail: jt@madi.ru

**Лапшов Егор Алексеевич**

Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)  
Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский пр-т, 64  
Студент  
E-mail: egor12abab@gmail.com

---

T.E. MELNIKOVA, S.E. MELNIKOV, E.A. LAPSHOV



# PROSPECTS OF THE USAGE OF BLOCKCHAIN IN TECHNOLOGIES OF TRANSPORT AND LOGISTICS OPERATIONS

**Abstract.** The article considers blockchain technologies as a combination of innovative tools capable of integration with existing logistics tools and the creation of new supply chain management methods. The real need for the use of blockchain technology as a logistics tool has been analyzed and identified. The term «digital economy», which was formulated in the Decree of the Government of the Russian Federation No. 1632-r, with a valid definition of blockchain and cryptocurrencies, is analyzed. Amendments to regulatory legal acts regulating the use of blockchain technologies to ensure their effective and safe functioning in the country's financial system are proposed.

**Keywords:** logistics, blockchain, cryptocurrency, blockchain technology, decentralization, smart contract

## BIBLIOGRAPHY

1. Mel'nikova T.E., Mel'nikov S.E., Makurina V.M., Kakhramanova S. Problemy sozdaniya regul'yatornoy bazy v protsesse tsifrovizatsii avtoperevozok // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2021. №9. S. 49-52. DOI 10.36535/0236-1914-2021-09-9. EDN NLLPSA.
2. Efimenko D.B., Demin V.A., Komkova D.A., Gerami V.D. Metodika vybora tekhnologii gruzoobrabotki dlya skladov elektronnoy trgovli // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №2(81). S. 119-125. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(81)-119-125. EDN DFHLBH.
3. Poleshkina I.O., Vasil'eva N.V. Tekhnologiya BLOCKCHAIN kak instrument upravleniya tsepyami postavok s uchastiem vozdušnogo transporta // Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii. 2020. T. 23. №2. S. 72-86. DOI 10.26467/2079-0619-2020-23-2-72-86. EDN OCBSHG.
4. Poleshkina I. Blockchain in Air Cargo: Challenges of New World // Information Technologies and Management of Transport Systems: the VII International Scientific and Practical Conference (ITMTS 2021). Orel. DOI: 10.1051/mateconf/202134100021.
5. Perboli G., Musso S., Rosano M. Blockchain in Logistics and Supply Chain: A Lean Approach for Designing Real-World Use Cases // IEEE Access. 2018. Vol. 6. P. 62018-62028. DOI 10.1109/ACCESS.2018.2875782. EDN WWSLHR.
6. Leont'ev S.M. Blokcheyn i kriptovalyuty: primeneniye tekhnologii blokcheyn za predelami finansovoy sfery i novye modeli biznesa // Vestnik magistratury. 2023. №7(142). S. 100-101. EDN ZOZSBG.
7. Sayakov D.A. Rol' kriptografii v razvitii natsional'noy tsifrovoy valyuty: zashchita dannykh i preimushchestva ispol'zovaniya tekhnologii blokcheyn // Problemy avtomatiki i upravleniya. 2024. №1(49). S. 61-69. EDN SHVJJK.
8. Tanchinets P.P. Primeneniye tekhnologii blokcheyn i smart-kontraktov dlya optimizatsii i avtomatizatsii tamozhennykh operatsiy // Molodezhnyy vektor tamozhni. 2023. №3(6). S. 45-48. EDN VYJBSO.
9. Efemov A.S., Poleshkina I.O. Tekhnologiya blokcheyn: perspektivnyy instrument otslezhivaniya dostavki gruzov «Severnogo zavoza» // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-5(78). S. 78-87. DOI 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-78-87. EDN ZSBRFV.
10. Petrenko A.S., Petrenko S.A., Kostyukov A.D. Etalonnaya model' blokcheyn-platformy // Zashchita informatsii. Insayd. 2022. №4(106). S. 34-44. EDN ADUTEL.
11. Panyukova V.V. Mezhdunarodnyy opyt primeneniya tekhnologii blokcheyn pri upravlenii tsepyami postavok // Ekonomika. Nalogi. Pravo. 2018. T. 11. №4. S. 60-67. DOI 10.26794/1999-849X-2018-11-4-60-67. EDN XWIEHJ.
12. Sulaymanova CH.N., Malikov A.M. Blokcheyn v zalogovykh pravootnosheniyakh: innovatsii i pravovoe regulirovaniye // Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta. 2024. T. 24. №3. S. 112-116. DOI 10.36979/1694-500X-2024-24-3-112-116. - EDN BLUUXL.
13. Mitryaev I.S., Lysenko E.S., Ostryakova A.F. Tekhnologiya blokcheyn i kriptovalyuta: instrumenty tsifrovoy transformatsii // Agrarnoe i zemel'noye pravo. 2022. №4(208). S. 132-137. DOI 10.47643/1815-1329\_2022\_4\_132. EDN SFCGYD.
14. Kummer S., Herold D.M., Dobrovnik M., Mikl J., Sch?fer N. A. Systematic review of blockchain literature in logistics and supply chain management: Identifying research questions and future directions // Future Internet. 2020. Vol. 12(3). P. 60.

### Melnikova Tatiana Evgenievna

Moscow Automobile and Road Transport State Technical University (MADI)  
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prosp.  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: kicha78@yandex.ru

### Lapshov Egor Alekseevich

Moscow Automobile and Road Transport State Technical University (MADI)  
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prosp.  
Student  
E-mail: egor12abab@gmail.com

### Melnikov Sergey Evgenievich

Moscow Automobile and Road Transport State Technical University (MADI)  
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prosp.  
Candidate of Legal Sciences  
E-mail: jt@madi.ru

Научная статья

УДК 659.86

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-1(88)-138-144

А.Н. НОВИКОВ, А.В. СТЕЦЕНКО

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ «ПОЧТА РОССИИ»

***Аннотация.** В статье исследуются тренды и проекты цифровой трансформации транспортно-логистических процессов «Почта России», систематизированы вызовы, с которыми сталкивается компания в контексте обозначенного трансформационного перехода. Определены драйверы системного развития компании в контексте модернизации цифровой платформы грузоперевозок. Автором представлен прогноз цифровой трансформации транспортно-логистических услуг «Почта России» и обозначены условия его практической реализации.*

***Ключевые слова:** логистика, транспорт, цифровая трансформация, грузовые перевозки*

### **Введение**

Цифровая трансформация транспортно-логистических процессов «Почта России» сегодня обусловлена изменением стратегии её развития, сущность которой состоит в постепенном переходе из почтового оператора в логистическую ИТ-компанию, функционирующую на принципах «собственного цифрового суверенитета и импортонезависимости ключевых информационных систем».

Ключевым продуктом «Почта России» в перспективе станет «Единая логистическая платформа», задача которой состоит в объединении действующих логистических систем компании с оборудованием, которое обеспечит их автоматизацию по основным транспортно-технологическим процессам [7]. Функционирование платформы должно быть построено на математическом моделировании и искусственном интеллекте, что позволит синхронизировать логистические мощности с учетом оптимальности ресурсного обеспечения и рыночных сроков доставки грузов.

Целью статьи является оценка возможности цифровой трансформации транспортно-логистических процессов «Почта России» и переход её в формат современной ИТ-компании для обеспечения роста эффективности грузоперевозок, снижения затрат и роста качества сервисного обслуживания клиентов.

### **Материал и методы**

Базовую основу исследования составили общенаучные методы, которые позволили провести анализ основных трендов и проектов цифровой трансформации транспортно-логистических процессов «Почта России», систематизировать вызовы, с которыми сталкивается компания в контексте обозначенного трансформационного перехода, определить драйверы системного развития компании в контексте модернизации цифровой платформы грузоперевозок. Информационную базу исследования составили данные Ассоциации «Цифровой транспорт и логистика», а также авторские исследования организации и оценки эффективности логистических процессов «Почта России».

### **Теория / расчет**

Общемировые тенденции, связанные с цифровизацией транспортно-логистических процессов в различных секторах экономики выступают значимым стимулом внедрения цифровых решений в различные сферы хозяйственной деятельности [19]. Транспортно-логистические технологии в почтовых системах служат не только катализатором электронной торговли, но и базисом формирования новых видов услуг в экономике [20]. Почтовые службы предоставляют большой спектр видов деятельности и услуг (от приема и отправки писем, бандеролей и посылок до предоставления банковских услуг, услуг экспедирования), а также продажи товаров народного потребления [8].

Перемещения почтовых отправок осуществляются с привлечением различных видов транспорта (автомобильный, железнодорожный, авиационный), а в некоторых случаях, в зависимости от географического расположения, почта может доставляться морским транспортом, внутренним водным, на вертолетах [3]. Эффективность работы почтовых служб зависит от организации цепи поставок и выстраивания транспортной системы при взаимной увязке всех элементов транспортно-складского комплексов, к которым относятся сортировочные и логистические центры компании [11].

Оценка включения «Почта России» в систему цифровой трансформации транспорта и логистики России демонстрирует постепенную адаптированность компании к новым экономическим условиям, что происходит благодаря гибкости и цифровой зрелости транспортно-логистической отрасли экономики (рис. 1) [12].

ВИДЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	Тренды в области грузовых перевозок и логистики			Общие цифровые тренды		
Автомобильный транспорт	1	5		6	7	10
Железнодорожный транспорт	1	5		8	10	
Морской транспорт	1	4	5	9	10	
Авиационный транспорт	1	3	5			
«Почта России»						
	1			2		
1 – электронные торговые площадки 2 – маркетплейсы и почта 3 – беспилотные авиационные системы 4 – безэкипажное судодвижение 5 – цифровизация грузовых терминалов 6 – беспилотные автомобили 7 – интеллектуальная транспортная инфраструктура международных автодорог 8 – цифровизация инфраструктуры и подвижного состава 9 – цифровизация инфраструктуры морских перевозок 10 – цифровизация объектов транспортной инфраструктуры						

Рисунок 1 - Грузовые перевозки и логистика «Почта России» в системе цифровой трансформации РФ

По ряду направлений Россия занимает лидирующие мировые позиции: беспилотный транспорт всех видов, цифровизация железных дорог, агрегаторы такси, каршеринг [18].

«Почта России», уже сегодня, формирует достаточно устойчивый потенциал цифровизации в сегментах: электронные торговые площадки, маркетплейсы и почта, цифровизация инфраструктуры и подвижного состава, цифровизация объектов транспортной инфраструктуры [5].

Развитие электронных торговых площадок для «Почта России» формирует доступ не только к большому числу поставщиков и покупателей, но и обеспечивает прозрачность и мониторинг цен, снижает транзакционные затраты, ускоряет заключение сделок, оптимизирует маршрут перевозок грузов. Самым масштабным игроком здесь выступает железнодорожный транспорт, а наиболее фрагментированным – автомобильный [15].

Для железнодорожных перевозок «Почта России» использует контейнерные поезда со специальными скоростными платформами. Последним таким проектом является почтовый контейнерный поезд «Россия», который был запущен в мае 2022 года [2]. С момента реализации проекта «Почта России» отправила уже более 150 таких составов, в том числе в 2023 году - 109 поездов «Россия» [14]. В перспективе РЖД и «Почта России» планирует реализацию 22 аналогичных проектов [16].

«Почта России» активно выстраивает сотрудничество с популярными сегодня маркетплейсами (Wildberries, Ozon, Яндекс.Маркет, Мегамаркет, Лемана ПРО), предлагая различные способы доставки: до складов маркетплейсов, курьером до покупателя, в постамент, в почтовое отделение [1]. В 2023 году объем занимаемых маркетплейсами складских площадей «Почта России» достиг 14 % от общих объемов [4].

Проект цифровой трансформации «Почта России» рассчитан на 2021-2024 гг., в перспективе продлен до 2030 г., но уже в настоящее время, компания может служить примером организации, для которых цифровые технологии, представляя изначально значительный вызов, в итоге стали драйвером роста [6]. Тем не менее, проблемы остаются, и их решение требует комплексного подхода, в том числе государственного регулирования отрасли (табл. 1).

Таблица 1 - Вызовы, с которыми сталкивается «Почта России» в контексте трансформации транспортно-логистических процессов

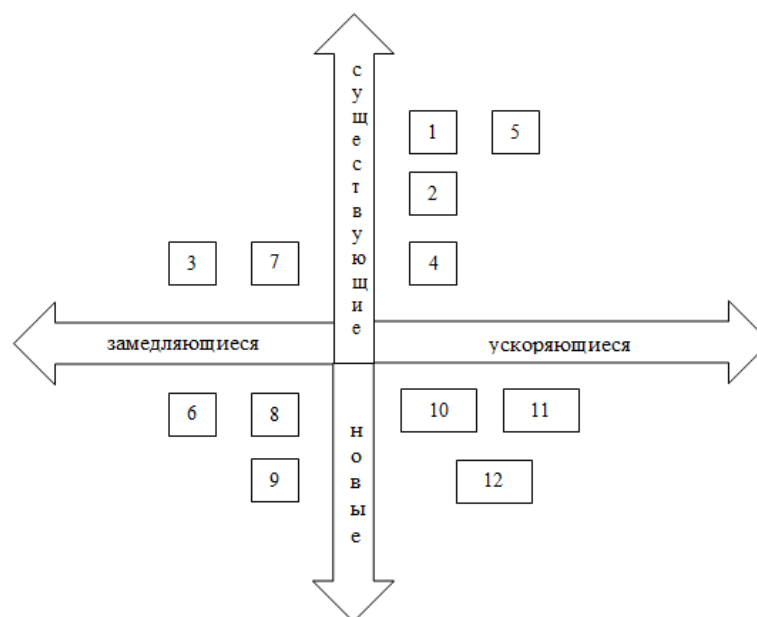
<i>КРАТКОСРОЧНЫЕ ВЫЗОВЫ</i>	<i>РЕШЕНИЕ</i>
обеспечение бесперебойной работы подвижного состава в условиях санкций	кибербезопасность импортозамещение внедрение цифровых технологий для обеспечения транспортной безопасности государственное управление на основе данных
террористическая опасность	
ограничение доступа к IT-технологиям	импортозамещение внедрение 5G в логистику
переориентация грузовых потоков, в частности портовых терминалов	цифровизация инфраструктуры и подвижного состава международная интеграция в грузовых перевозках
<i>ДОЛГОСРОЧНЫЕ ВЫЗОВЫ</i>	<i>РЕШЕНИЕ</i>
низкий уровень транспортной доступности отдельных территорий страны	развитие маркетплейсов (логистическое равенство)
большие расстояния	цифровизация инфраструктуры, подвижного состава и цифровых компетенций компании беспилотные транспортные средства
«узкие места» грузовой транспортной инфраструктуры	государственное управление на основе данных развитие цифровой инфраструктуры и цифровых компетенций компании глобализация обмена данными мотивация к социально-ориентированному развитию
высокая консолидация отрасли	

В контексте обозначенных вызовов обозначенные варианты решения проблем должны ориентироваться на следующие драйверы роста [10]:

- в вопросе импортозамещения: переход на отечественные ИТ-системы и ориентация на сервисы дружественных стран;
- в вопросе обеспечения кибербезопасности: переход на отечественные ПО, достижение гетерогенности цифровых решений, обеспечение максимальной степени интеграции с другими отраслями на всей территории страны, развитие навыков обеспечения кибербезопасности на каждом уровне логистического менеджмента;
- в вопросе развития цифровых компетенций: использование опыта сотрудников с цифровыми решениями, включение корпоративных образовательных программ;
- в вопросе цифровизации инфраструктуры, подвижного состава: переориентация транспортных коридоров, увеличение провозной способности за счет включения транспортных инструментов;
- в вопросе транспортной безопасности: использование аналитических систем анализирующих риск на транспорте;
- в вопросе государственного управления на основе данных: совершенствование государственного управления транспортной системой, использование единых стандартов управления транспортной системой, активное использование новых источников данных (ГИС ЭПД, ЭРА-ГЛОНАСС, ИТС).

С учетом внешней и внутренней геополитической ситуации в стране Ассоциацией

«Цифровой транспорт и логистика» сформирован ряд трендов цифрового развития России до 2025 года [9]. Анализ данных позволяет сформировать траекторию развития транспортно-логистических процессов «Почта России», и сформировать оптимальный путь к ускорению и повышению эффективности цифровой трансформации почтовой отрасли в стране (рис. 2).



**Рисунок 2 - Тренды цифрового развития «Почта России» до 2025 года**

11 – государственное управление транспортом; 12 – цифровизация транспортной безопасности

Следует предположить, что цифровая трансформация транспортно-логистических процессов «Почта России» будет связана с формированием четырех блоков отрасли [17]:

- первый блок: доминирующий (включают существующие цифровые стратегии с доказанной эффективностью);
- второй блок: заблокированный (включает новые стратегии, но не развивающиеся);
- третий блок: инерционные (существующие и обеспечивающие развитие отрасли);
- четвертый блок: развивающиеся (новые и обеспечивающие развитие отрасли в будущем).

Стратегия развития каждого блока формируется в соответствии со стратегией развития отрасли и целями трансформации национальной экономики в процессе перехода на цифровой формат ее развития.

#### **Результаты и обсуждение**

Исследование показало, что в 2025-2026 гг. трансформация транспортно-логистических процессов будет обусловлена тремя основными процессами:

- развитием отраслевых тенденций (электронных торговых площадок, маркетплейсов);
- адаптацией к лучшим мировым практикам (беспилотные экипажи, беспилотные автомобили);
- реагирование на вызовы (долгосрочные и краткосрочные).

С учетом тенденций развития цифровых систем составлен прогноз цифровой трансформации транспортно-логистических услуг «Почта России» в системе цифровой трансформации РФ (рис. 3).

Условием развития цифровой трансформации «Почта России» будет выступать:

- совпадение интересов всех заинтересованных сторон (потребителей услуг, перевозчиков, государства);
- разработка соответствующих мер поддержки компании, в том числе государственной;
- развитие государственного сегмента цифровых решений в логистике;

- стимулирование цифровых логистических процессов.

ВИДЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	Тренды в области грузовых перевозок и логистики			Общие цифровые тренды				
Автомобильный транспорт	1	5		6	7	10	11	12
Железнодорожный транспорт	1	5		8	10	5	11	12
Морской транспорт	1	4	5	9	10	5	11	12
Авиационный транспорт	1	3	5	11	12			
«Почта России»								
	1	2	10	11	12			
1 – торговые площадки 2 – маркетплейсы и почта 3 – беспилотные авиационные системы 4 – безэкипажное судодвижение 5 – цифровизация грузовых терминалов 6 – беспилотные автомобили 7 – интеллектуальная транспортная инфраструктура международных автодорог 8 – цифровизация инфраструктуры и подвижного состава 9 – цифровизация инфраструктуры морских перевозок 10 – цифровизация объектов транспортной инфраструктуры 11 – государственное управление транспортом 12 – цифровизация транспортной безопасности								

Рисунок 3 – Прогноз цифровой трансформации транспортно-логистических услуг «Почта России» в системе цифровой трансформации РФ

### Выводы

Таким образом, цифровая трансформация российской транспортно-логистической отрасли ускоряется и затрагивает все отраслевые сегменты. В отношении грузовых перевозок и логистики «Почта России» наиболее яркими трендами является развитие систем доставки и логистики маркетплейсов, цифровизация транспортной безопасности, а также начало массовой коммерческой эксплуатации беспилотных транспортных систем. В целом цифровая трансформация транспортно-логистических процессов «Почта России» соответствует общенациональным и мировым тенденциям. Уникальность российских трендов состоит в необходимости импортозамещения отдельных процессов и расширении практики государственного управления логистическими процессами, как в отдельных, стратегически важных отраслях, так и в отношении всей национальной экономики.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BIG DATA «Почты России» Подходы к формированию целевой аудитории в офлайн [Электронный ресурс]. URL: <http://auditorium-cg.ru/content/materials/SRB17/Cherkasov.pdf>.
2. Ассоциации «Цифровой транспорт и логистика» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dtl.ru/news/>.
3. Каргина Л.А., Лебедева С.Л., Егоров С.В., Душейко А.С. Применение принципов дизайн-мышления в цифровизации транспортно-логистических услуг // Экономика железных дорог. 2021. №1. С. 67-73.
4. Мамаев А.А., Сидоренко Л.Ж. Интеллектуальные ресурсы - региональному развитию // 2020. №1. С. 211-216.
5. Миссия и стратегия развития АО «Почта России» до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pochta.ru/company/mission-and-strategy>.
6. Москаленко Д.В., Гиниятуллин Р.Р. Влияние цифровизации на рынок международных логистических услуг: вызовы и перспективы. Образование и наука без границ: социально-гуманитарные науки. 2023. № 19. С. 146-149.
7. Почта в цифре [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6918253>.

8. Почтовая связь: некоторые факты и показатели за 6 лет. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/info/32167>.
9. Проект Внешнеэкономической стратегии Российской Федерации до 2030 года. URL: [https://www.economy.gov.ru/material/directions/vneshneekonomicheskaya\\_dey](https://www.economy.gov.ru/material/directions/vneshneekonomicheskaya_dey)
10. Социальные проекты АО «Почта России» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pochta.ru/person/care>
11. Стеценко А.В., Ефремова С.М. Инновационные технологии в логистике: оценка и перспективы развития. Материалы XXII Международной научно-практической конференции. Орел. 2024. С. 155-160
12. Стеценко А.В., Ефремова С.М. Логистический менеджмент: уровень SPL // Материалы XXI Международной научно-практической конференции. Орел. 2024. С.147-153
13. Стеценко А.В., Ефремова С.М. Рынок транспортно-логистических услуг в новых условиях: проблемы и приоритеты развития // Материалы V Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. Орел, 2023. С. 14-20.
14. Транспортный сектор РФ. Стратегия 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://ma-research.ru/>.
15. Услуги и сервисы АО «Почта России» для бизнеса [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pochta.ru/business>.
16. Федотова С.Н. Цифровизация транспортно-логистических услуг // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. № 11-3 (57). С. 124-127.
17. Шишко Е.Л. Цифровизация и конкурентоспособность в сфере логистических услуг // Логистические системы в глобальной экономике. 2020. №10. С. 344-348.
18. Podkolzina I.M., Gladilin A.V., Reshetov K.Yu., Taranova I.V., Gladilin V.A. Building a financial security system to ensure russia's food security // The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Сер. «Lecture Notes in Networks and Systems» Heidelberg. 2021. С. 539-548
19. Christoffer Augsburg. Digital transformation in the postal industry [Электронный ресурс]. URL: [mode:https://www.parcelandpostaltechnologyinternational.com/opinion/digital-transformation-in-the-postal-industry.html](https://www.parcelandpostaltechnologyinternational.com/opinion/digital-transformation-in-the-postal-industry.html).
20. М.А. Research Research Agency [Электронный ресурс]. URL: <https://ma-research.ru/>.

**Новиков Александр Николаевич**

Орловский государственный университет

Адрес: 302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95

Д.т.н., профессор, директор Политехнического института имени Н.Н. Поликарпова

E-mail: [novikovan58@bk.ru](mailto:novikovan58@bk.ru)

**Стеценко Александр Васильевич**

Орловский государственный университет

Адрес: 302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95

К.э.н., декан факультета подготовки иностранных обучающихся

E-mail: [sava4@mail.ru](mailto:sava4@mail.ru)

---

A.N. NOVIKOV, A.V. STETSENKO

## DIGITAL TRANSFORMATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES OF THE RUSSIAN POST

**Abstract.** *The article examines trends and projects of digital transformation of transport and logistics processes of Russian Post, systematizes the challenges faced by the company in the context of the designated transformational transition. The drivers of the company's systemic development in the context of the modernization of the digital freight transportation platform have been identified. The author presents a forecast of the digital transformation of transport and logistics services of the Russian Post and outlines the conditions for its practical implementation.*

**Keywords:** *logistics, transport, digital transformation, freight transportation*

### BIBLIOGRAPHY

1. BIG DATA «Pochty Rossii» Podkhody k formirovaniyu tselevoy auditorii v oflayn [Elektronnyy resurs]. URL: <http://auditorium-cg.ru/content/materials/SRB17/Cherkasov.pdf>.
2. Assotsiatsii «Tsifrovoy transport i logistika» [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.dtla.ru/news/>.
3. Kargina L.A., Lebedeva S.L., Egorov S.V., Dusheyko A.S. Primenenie printsipov dizayn-myshleniya v tsifrovizatsii transportno-logisticheskikh uslug // Ekonomika zheleznnykh dorog. 2021. №1. S. 67-73.



4. Mamaev A.A., Sidorenko L.ZH. Intellektual`nye resursy - regional`nomu razvitiyu // 2020. №1. S. 211-216.
5. Missiya i strategiya razvitiya AO «Pochta Rossii» do 2030 goda [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.pochta.ru/company/mission-and-strategy>.
6. Moskalenko D.V., Giniyatullin R.R. Vliyaniye tsifrovizatsii na rynek mezhdunarodnykh logisticheskikh uslug: vyzovy i perspektivy. Obrazovanie i nauka bez granits: sotsial`no-gumanitarnye nauki. 2023. № 19. S. 146-149.
7. Pochta v tsifre [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6918253>.
8. Pochtovaya svyaz': nekotorye fakty i pokazateli za 6 let. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://government.ru/info/32167>.
9. Proekt Vneshneekonomicheskoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda. URL: [https://www.economy.gov.ru/material/directions/vneshneekonomicheskaya\\_dey](https://www.economy.gov.ru/material/directions/vneshneekonomicheskaya_dey)
10. Sotsial`nye proekty AO «Pochta Rossii» [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.pochta.ru/person/care>
11. Stetsenko A.V., Efremova S.M. Innovatsionnye tekhnologii v logistike: otsenka i perspektivy razvitiya. Materialy XXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel. 2024. S. 155-160.
12. Stetsenko A.V., Efremova S.M. Logisticheskiy menedzhment: uroven` SPL // Materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel. 2024. S.147-153
13. Stetsenko A.V., Efremova S.M. Rynek transportno-logisticheskikh uslug v novykh usloviyakh: probleme i priority razvitiya // Materialy V Natsional`noy (vserossiyskoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. Oriol, 2023. S. 14-20.
14. Transportnyy sektor RF. Strategiya 2023 [Elektronnyy resurs]. URL: <https://ma-research.ru/>.
15. Uslugi i servisy AO «Pochta Rossii» dlya biznesa [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.pochta.ru/business>.
16. Fedotova S.N. Tsifrovizatsiya transportno-logisticheskikh uslug // Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. 2019. № 11-3 (57). S. 124-127.
17. Shishko E.L. Tsifrovizatsiya i konkurentosposobnost` v sfere logisticheskikh uslug // Logisticheskie sistemy v global`noy ekonomike. 2020. №10. S. 344-348.
18. Podkolzina I.M., Gladilin A.V., Reshetov K.Yu., Taranova I.V., Gladilin V.A. Building a financial security system to ensure russia's food security // The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Ser. «Lecture Notes in Networks and Systems» Heidelberg. 2021. S. 539-548
19. Christoffer Augsburg. Digital transformation in the postal industry [Elektronnyy resurs]. URL: [mode:https://www.parcelandpostaltechnologyinternational.com/opinion/digital-transformation-in-the-postal-industry.html](https://www.parcelandpostaltechnologyinternational.com/opinion/digital-transformation-in-the-postal-industry.html).
20. M.A. Research Research Agency [Elektronnyy resurs]. URL: <https://ma-research.ru/>.

**Novikov Alexander Nikolaevich**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str., 95  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: [novikovan58@bk.ru](mailto:novikovan58@bk.ru)

**Alexander Vasilyevich Stetsenko**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str. 95  
Candidate of Economic Sciences  
E-mail: [sava4@mail.ru](mailto:sava4@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 25.02.2025 г.  
Дата выхода в свет 28.03.2025 г.  
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,2  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 69

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95