

ISSN 2073-7432

**МИР ТРАНСПОРТА  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**№ 4-1 (87) 2024**

<p>Главный редактор: <b>Новиков А.Н.</b> д-р техн. наук, проф.</p> <p>Заместители главного редактора: <b>Васильева В.В.</b> канд. техн. наук, доц. <b>Родимцев С.А.</b> д-р техн. наук, доц.</p> <p>Редакция: <b>Агеев Е.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Агуреев И.Е.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Басков В.Н.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Власов В.М.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Глаголев С.Н.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Демич М.</b> д-р техн. наук, проф. (Сербия) <b>Денисов А.С.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Евтюков С.А.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Жаковская Л.</b> д-р. наук, проф. (Польша) <b>Жанказиев С.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Захаров Н.С.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Зырянов В.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Маткеримов Т.Ы.</b> д-р техн. наук, проф. (Кыргызстан) <b>Прентковский О.</b> д-р техн. наук, проф. (Литва) <b>Пржибыл П.</b> д-р техн. наук, проф. (Чехия) <b>Пугачев И.Н.</b> д-р техн. наук, доц. (Россия) <b>Пушкарев А.Е.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Рассоха В.И.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Ременцов А.Н.</b> д-р пед. наук, проф. (Россия) <b>Ризаева Ю.Н.</b> д-р техн. наук, доц. (Россия) <b>Сарбаев В.И.</b> д-р техн. наук, профессор (Россия) <b>Трофименко Ю.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Трофимова Л.С.</b> д-р техн. наук, доц. (Россия) <b>Шарата А.</b> д-р. наук, проф. (Польша)</p> <p>Ответственный за выпуск: <b>Акимочкина И.В.</b></p> <p>Адрес редколлегии: 302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77 Тел. +79058566556 <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></p> <p>Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.</p> <p>Подписной индекс: <b>16376</b> по объединенному каталогу «Пресса России» на сайтах <a href="http://www.ppressa-rg.ru">www.ppressa-rg.ru</a> и <a href="http://www.akc.ru">www.akc.ru</a></p> <p>© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2024</p>	<h2>Содержание</h2> <p><i>Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте</i></p> <p><b>А.В. Куликов</b> Разработка системы принятия решений при проектировании умной остановки в транспортно-пересадочных узлах городского пассажирского транспорта..... 3</p> <p><b>М.Д. Кабалин, В.А. Токарев, Л. Чуньгуан, М.С. Юдина</b> Рециклинг при строительстве дорог транспортно-дорожного комплекса региона. Обзор..... 12</p> <p><i>Управление процессами перевозок</i></p> <p><b>М.А. Копылов</b> Комплекс разгрузочных работ для крупногабаритных цилиндрических грузов..... 20</p> <p><b>И.А. Гайсин, А.В. Мартыненко</b> Оценка доступности маршрутной сети городского общественного транспорта на основе беспересадочности..... 28</p> <p><b>А.В. Кулев, Д.О. Ломакин</b> Социально-ориентированный подход назначения подвижного состава на маршруты городского пассажирского транспорта..... 38</p> <p><i>Эксплуатация автомобильного транспорта</i></p> <p><b>А.Н. Новиков, А.Е. Акимов, С.Н. Бондаренко, А.Н. Бодяков</b> Анализ диагностики улично-дорожной сети с целью повышения эффективности ее эксплуатации... 46</p> <p><b>Е.С. Сытник</b> Анализ специфики экологических рисков и угроз в управлении техногенными отходами системы автосервиса..... 56</p> <p><b>Н.А. Загородний, М.В. Головкин</b> Исследование воздействия технологических параметров конусной дробилки на процесс дробления щебня..... 65</p> <p><b>В.В. Сиваков, Е.А. Юрков</b> Особенности сервисного обслуживания автомобилей китайского производства..... 73</p> <p><b>А.Ю. Родичев, О.А. Иванов, И.В. Родичева, К.В. Васильев</b> Статистическая оценка результатов износа подшипников скольжения балансирной подвески автомобиля КАМАЗ..... 82</p> <p><b>Е.Н. Грядунова, А.В. Горин, А.Д. Серебренников</b> Формирование профессиональных компетенций обучающихся при выполнении лабораторной работы «динамическая балансировка ротора»..... 88</p> <p><i>Интеллектуальные транспортные системы</i></p> <p><b>Е.А. Шкарпеткин, В.А. Шаталов, В.В. Васильева, В. Цзиньэнь</b> Реализация функциональных возможностей беспилотного транспорта в сфере интеллектуальных транспортных систем..... 97</p> <p><i>Логистические транспортные системы</i></p> <p><b>В.В. Зырянов, Г. Аохуа, Ю.Н. Линник, М.В. Кулев</b> Моделирование гибких скоростных режимов на автомагистралях..... 104</p> <p><b>Н.В. Соловьев</b> Методы оценки эффективности производства в сложных транспортных системах..... 112</p> <p><b>А. Синь, О.Ю. Булатова, С.В. Еремин, А.С. Трошин</b> Определение принципов эффективного транспортного обслуживания мега-событий на примере XIX Азиатских игр в г. Ханчжоу..... 119</p> <p><b>Ц. Цзян, А.А. Феофилова, А.Г. Шевцова, В.В. Васильева</b> Прогнозирование транспортных потоков на основе модели сверточной нейронной сети..... 126</p> <p><b>А.Н. Новиков, С.А. Жесткова</b> Совершенствование транспортно-логистических процессов сетевой доставки грузов автомобильным транспортом на примере компании ОАО «Магнит»..... 134</p>
---	--

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

# World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 4-1(87) 2024

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

Editor-in-Chief A.N. Novikov Doc.Eng., Prof	<b>Contents</b>
Associates Editor V.V. Vasileva Can. Eng. S.A. Rodimzev Doc. Eng.	<i>Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport</i>
Editorial Board: E.V. Ageev Doc. Eng., Prof. (Russia) I.E. Agureev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.N. Baskov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.M. Vlasov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.N. Glagolev Doc. Eng., Prof. (Russia) M. Demic Doc. Eng., Prof. (Serbia) A.S. Denisov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.A. Evtyukov Doc. Eng., Prof. (Russia) L. Żakowska Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland) S.V. Zhankaziev Doc. Eng., Prof. (Russia) N.S. Zaharov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.V. Zyryanov Doc. Eng., Prof. (Russia) T.Y. Matkerimov Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan) O. Prentkovskis Doc. Eng., Prof. (Lithuania) P. Pribyl Doc. Eng., Prof. (Czech Republic) I.N. Pugachev Doc. Eng. (Russia) A.E. Pushkarev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.I. Rassoja Doc. Eng., Prof. (Russia) A.N. Rementsov Doc. Edc., Prof. (Russia) Yu.N. Rizaeva Doc. Eng. (Russia) V.I. Sarbaev Doc. Eng., Prof. (Russia) Yu.V. Trofimenko Doc. Eng., Prof. (Russia) L.S. Trofimova Doc. Eng. (Russia) A. Szarata Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)	<i>Management of transportation processes</i>
Person in charge for publication: I.V. Akimochkina	<i>Operation of motor transport</i>
Editorial Board Address: 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru	<i>Intelligent transport systems</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>Logistic transport systems</i>
Subscription index: 16376 in a union catalog «The Press of Russia» on sites www.pressa-rf.ru и www.akc/ru	<i>Development of a decision-making system for the design of a smart stop at transport hubs of urban passenger transport</i> ..... 3 <i>Recycling in the construction of roads of the transport and road complex of the region. Review</i> ..... 12
© Registration. Orel State University, 2024	<i>Complex for unloading operations related to bulky cylindrical loads</i> .... 20 <i>Transportation accessibility assessment based on interchangeability</i> ..... 28 <i>Socially-oriented approach to assigning rolling stock to urban passenger transport routes</i> ..... 38
	<i>Analysis of diagnostics of the street and road network in order to improve the efficiency of its operation</i> ..... 46 <i>Analysis of the specifics of environmental risks and threats in managing technogenic waste within the automotive service system</i> ..... 56 <i>Research of the influence of technological parameters of a cone crusher on the process of crushed stone</i> ..... 65 <i>Features of chinese-made car service</i> ..... 73 <i>Statistical evaluation of wear results of bearings of the balance suspension of the kamaz vehicle</i> ..... 82 <i>Formation of professional competencies of students when performing laboratory work «dynamic rotor balancing»</i> ..... 88
	<i>Implementation of the functionality of unmanned vehicles in the field of intelligent transport systems</i> ..... 97
	<i>Modeling of flexible speed limits on motorways</i> ..... 104 <i>Methods for evaluating production efficiency in complex transport systems</i> ..... 112 <i>Mega-events effective transport services defining using the XIX Asian games in Hangzhou example</i> ..... 119 <i>Traffic flow prediction based on convolutional neural network model</i> ..... 126 <i>Improvement of transport services for the network delivery of goods by road on the example of JSC Magnit</i> ..... 134

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 656.015

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-3-11

А.В. КУЛИКОВ

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ  
ПРОЕКТИРОВАНИИ УМНОЙ ОСТАНОВКИ  
В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ ГОРОДСКОГО  
ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

***Аннотация.** В статье проведен анализ характеристик остановочных пунктов с выделением свойств умных остановок в транспортно-пересадочных узлах (ТПУ) единой транспортной системы города и агломерации. Сформированы требования к умным остановкам, представлены методы принятия решений при проектировании информационной системы умной остановки. Использование морфологических таблиц позволяет принять решение или выбрать несколько решений, определяющих хороший или удовлетворительный уровень разработки систем умной остановки. Предложено использовать морфологический метод для проектирования различных информационных компонентов единой транспортной системы.*

***Ключевые слова:** транспортно-пересадочные узлы, транспортное проектирование, умная остановка, морфологический метод, городской пассажирский транспорт, пассажиры, система принятия решений, подсистема, элемент транспортной системы*

**Введение**

В настоящее время с бурным развитием информационных технологий и применением их в новых умных системах дает возможность создать единую экосистему, формирующую умный город и агломерацию. Такие системы обеспечивают быстрое и комфортное передвижение пассажиров с возможностью дальнейшего транспортного проектирования. Получение элементов транспортной системы таких, как умные автобусы, умные светофоры, умные остановочные пункты, умные пешеходные переходы и другое является актуальным.

Остановочные пункты обеспечивают возможность взаимодействия различных видов городского пассажирского транспорта (ГПТ) путем создания инфраструктуры в ТПУ. Понятие ТПУ хорошо разъясняется в СП 395.1325800.2018 «Транспортно-пересадочные узлы», характеристика остановочных пунктов приведена в Федеральном законе от 08.11.2007 г. №259-ФЗ (ред. от 19.10.2023) «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта». В соответствии с ГОСТ Р 52766-2007 «Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования» регламентируется физическая структура остановочных пунктов, применяемых в различных географических местах транспортной системы. В настоящее время отсутствуют нормативные документы, регламентирующие понятие и набор элементов умной остановки.

В статье авторы приводят обоснование необходимости создания умной остановки в ТПУ. Используя знания специалистов транспортной области определены свойства умных остановок. С помощью системного подхода и системного анализа определен набор элементов в подсистемах умной остановки. Принятие решения о наборе элементов такого сложного объекта осуществлено специалистами методом мозгового штурма. В результате наборы элементов представлены в таблицах, обеспечивающих их визуализацию с характеристиками и стоимостью.

© А.В. КУЛИКОВ, 2024

Набор компонентов объединяется в предлагаемые подсистемы умной остановки. Разработаны основные этапы проектирования умной остановки, которые включают в себя исследование характеристик устройств и систем информационного обеспечения ожидающих транспорт пассажиров: обоснование необходимости умной остановки в конкретном ТПУ; составление списка элементов и их объединение в подсистемы; составление морфологической карты подсистем и набора элементов с возможными вариантами их реализации; выбор наилучшего сочетания элементов в подсистемах умной остановки по критериям, обеспечивающим хороший или удовлетворительный уровни.

Правильное размещение умных остановочных пунктов в городе и агломерации обеспечивает комфортное ожидание ГПТ. Внедрение умных остановок делает ожидание транспорта более комфортным и информативным, пассажиры могут точно знать расписание ГПТ, пользоваться интернетом, заряжать свои мобильные устройства и много другое.

#### ***Материал и методы***

В работе используются методы системного подхода и системного анализа, обеспечивающие набор элементов умной остановки и их объединения в подсистемы. Метод мозгового штурма позволяет специалистам транспортной области определить наилучшие функциональные характеристики элементов умной остановки и их взаимосвязи. Морфологический метод используется для выбора элементов оснащения подсистем умной остановки.

Выбор компонентов умной остановки осуществляется по разработанной методике со следующими критериями оптимизации: выбор по наилучшей функциональной характеристике элемента; выбор по наименьшей стоимости элемента. Применяется визуальный метод для предоставления реального вида элементов умной остановки и ее характеристик, используя табличный метод агрегирования данных. С помощью стоимостного метода определяется наилучший вариант элементов для умной остановки. Эффективность предложенных мероприятий оценивается экономическими методами.

#### ***Теория / Расчет***

Взаимодействие различных видов ГПТ происходит в ТПУ путем создания инфраструктуры для пересадки пассажиров. В соответствии с СП 395.1325800.2018 «Транспортно-пересадочные узлы» транспортно-пересадочные узлы – это комплекс объектов недвижимого имущества, включающий в себя земельный участок либо несколько земельных участков с расположенными на них, над ними или под ними объектами транспортной инфраструктуры, а также другими объектами, предназначенными для обеспечения безопасного и комфортного обслуживания пассажиров в местах их пересадок с одного вида транспорта на другой [1].

В ТПУ имеются платформы для обслуживания автобусных и трамвайных остановок. Эти узлы выполняют важную функцию в транспортной системе, обеспечивая смену видов транспорта и координируя передвижение людей.

Также ТПУ оборудованы информационными системами, которые предоставляют пассажирам информацию о расписаниях, маршрутах, стоимости и других важных данных [2, 3]. Это позволяет упростить процесс планирования и организации транспортных перемещений населения города.

Взаимодействие различных видов транспорта в ТПУ имеет ряд преимуществ, таких как увеличение доступности транспорта, сокращение времени и затрат на перемещение, а также улучшение эффективности использования транспортных средств и инфраструктуры [4]. Кроме того, это способствует развитию экологически более чистых видов транспорта снижающих конечные экологические нагрузки в транспортной системе города [5, 6].

Крупные остановочные пункты в мультимодальных ТПУ обслуживают несколько маршрутов ГПТ и имеют различные терминалы или платформы для разных видов транспорта, часто предоставляют дополнительные услуги, такие как киоски с продуктами питания, магазины и информационные центры.

Оснащение остановочных пунктов различными интеллектуальными информацион-

ными системами повысит комфорт пассажиров и уровень работы ГПТ. Рассмотрим внедрение умных остановок в городе-миллионнике и его агломерации.

Согласно Федеральному закону от 08.11.2007 г. № 259-ФЗ (ред. от 19.10.2023) «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» остановочный пункт – место остановки транспортных средств по маршруту регулярных перевозок, оборудованное для посадки, высадки пассажиров и ожидания транспортных средств [7].

В соответствии с ГОСТ Р 52766-2007 «Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования» остановочный пункт должен состоять из следующих элементов: остановочная площадка; посадочная площадка; переходно-скоростные полосы; заездной «карман» (при размещении остановочного пункта у пересечений и примыканий автомобильных дорог); боковая разделительная полоса (для дорог I-III категорий); тротуары и/или пешеходные дорожки; пешеходный переход; автопавильон или навес; скамьи; туалет (через 10-15 км для дорог I-III категорий); контейнер и урны для мусора (для дорог IV категории только урна); технические средства организации дорожного движения (дорожные знаки, разметка, ограждения); освещение (с питанием от распределительных сетей или автономных источников) [8].

Умные остановки – это инновационная система остановок, которая предлагает различные технологические решения для повышения комфорта пассажиров и эффективности ГПТ.

На данный момент не существует единого стандарта по оснащению умных остановок, так как каждый город или регион может разрабатывать и устанавливать свои собственные технологические решения. Однако, можно выделить некоторые основные элементы, которые часто присутствуют на умных остановках:

1) информационные табло: табло, на которых отображается расписание движения транспорта, ожидаемое время прибытия, а также другая полезная информация для пассажиров;

2) Wi-Fi и зарядные устройства: предоставление бесплатного Wi-Fi для пассажиров, чтобы они могли оставаться на связи во время ожидания. Кроме того, предусмотрены зарядные устройства для мобильных телефонов и других гаджетов;

3) умные камеры и датчики: установка видеокамер и датчиков для обеспечения безопасности пассажиров;

4) интерактивные экраны: экраны, на которых пассажиры могут получить информацию о маршрутах, достопримечательностях и других полезных местах в городе и его агломерации;

5) электронная оплата: поддержка электронной оплаты проезда для удобства пассажиров;

6) умный светофор: возможность связывать умные остановки с системами умных светофоров для оптимизации движения транспорта.

Кроме вышеперечисленного, умные остановки могут иметь и другие элементы, такие как сенсорные панели для управления функциями остановок, системы автоматического распознавания лиц и распознавания голосовых команд, системы определения загруженности транспорта, системы климат-контроля, системы связи умной остановки с диспетчерским центром, системы учета пассажиров на остановочных пунктах, системы комфортного ожидания (вендинговые автоматы, радио, теплые скамейки) и др.

Умные остановки привлекательны для пассажиров, так как облегчают процесс использования ГПТ, делают его более доступным и комфортным. Кроме того, умные остановки могут улучшить управление транспортной системой, помогая городским властям и перевозчикам анализировать и улучшать производительность и эффективность транспортных средств на маршрутах.


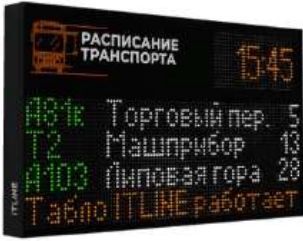

Элементы, предложенные отраслевыми специалистами, можно объединить в подсистемы умной остановки, это возможно с использованием системного подхода. Подсистемы должны обладать следующим основным требованием: связь элементов внутри выделяемой подсистемы гораздо больше, чем их связь с элементами других подсистем. Используется метод мозгового штурма (мозговой штурм – это оперативный метод решения проблемы на ос-

нове стимулирования творческой активности, при котором участникам обсуждения предлагают высказывать как можно большее количество вариантов решения, в том числе самых фантастичных. Затем из общего числа высказанных идей отбирают наиболее удачные, которые могут быть экспертного оценивания) для подбора элементов умной остановки, в котором участвуют специалисты транспортной отрасли.

### Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлена информация о возможных трех вариантах реализации элемента – информационное табло подсистемы информационного обмена для оснащения умной остановки [9].

Таблица 1 – Варианты реализации информационных табло

Наименование устройства	Внешний вид	Характеристики	Стоимость, руб.
Табло для остановочного комплекса ТО1-64x4		Габарит: 660x560x90 мм Информационное поле: 640x320 мм Разрешение табло: 64x32 пикс. Количество маршрутных строк: 4 Количество символов в строке: до 10 Температура эксплуатации: от -35°C до +55°C Режим отображение информации: статичный, скроллинг, бегущий Интерфейс связи – GSM / GPRS: есть	60 450
Табло для остановочного комплекса ТО1-Р10-96x4		Габарит: 980x560x90 мм Информационное поле: 960x320 мм Разрешение табло: 96x32 пикс. Количество маршрутных строк: 4 Количество символов в строке: до 15 Температура эксплуатации: от -35°C до +55°C Режим отображение информации: статичный, скроллинг, бегущий Интерфейс связи – GSM / GPRS: есть	69 700
Табло для остановочного комплекса ТО1-Р10-128x4		Габарит: 1300x560x90 мм Информационное поле: 1280x320 мм Разрешение табло: 128x32 пикс. Количество маршрутных строк: 4 Количество символов в строке: до 20 Температура эксплуатации: от -35°C до +55°C Режим отображение информации: статичный, скроллинг, бегущий Интерфейс связи – GSM / GPRS: есть	77 900

В таблице 2 представлена информация о производителе, внешнем виде и основных характеристиках пяти вариантов павильона умной остановки [10-12].

Таблица 2 – Варианты реализации павильонов умных остановок

Наименование производителя	Внешний вид	Характеристики
Norgrad		Материалы для изготовления: ударопрочная нержавеющая или конструкционная сталь Остекление: многослойное стекло триплекс Дополнительное оборудование: комплект информационного табло прибытия с голосовым повтором маршрутов; комплект видеонаблюдения; модуль вызова экстренной помощи; комплект инфракрасных обогревателей; комплект USB-зарядок; комплект освещения; точка доступа в интернет; комплект боковых стекол; система «безопасный город»



<p>ТД РУСМУЛЬТИ МЕДИА</p>		<p>Материалы для изготовления: чугун, алюминиевый композитный профиль                  Остекление: монолитный поликарбонат, каленое стекло/триплекс                  Дополнительное оборудование (в зависимости от комплектации): комплект видеонаблюдения; модуль вызова экстренной помощи; светодиодное освещение с датчиком включения (день/ночь); Wi-Fi оборудование; тревожная кнопка; USB-разъемы для зарядки мобильных устройств; видеоскрин для предоставления информации (туристический гид, возможность построить маршрут); комплект боковых стекол; система «безопасный город»; климат контроль</p>
<p>SMART CISTYLE_</p>		<p>Материалы для изготовления: алюминиевый композитный профиль                  Остекление: закаленное стекло триплекс                  Дополнительное оборудование (в зависимости от комплектации): комплект видеонаблюдения; светодиодное освещение; Wi-Fi оборудование; тревожная кнопка; USB-разъемы для зарядки мобильных устройств; информационные стенды, мониторы, экраны и табло; комплект боковых стекол; система «безопасный город»; табло прихода транспорта; скамейка с подогревом; ИК потолочные обогреватели; климат контроль</p>
<p>Городские инновации</p>		<p>Материалы для изготовления: конструкционная сталь                  Остекление: закаленное стекло                  Дополнительное оборудование (в зависимости от комплектации): расписание маршрутов транспорта; динамик для оповещения; комплект видеонаблюдения; светодиодное освещение с датчиком включения (день/ночь); Wi-Fi оборудование; тревожная кнопка; USB-зарядка для мобильных устройств; информационное табло; рекламный ситилайт; комплект боковых стекол; система «безопасный город»</p>
<p>МеталлМаркет</p>		<p>Материалы для изготовления: конструкционная сталь                  Остекление: закаленное стекло                  Дополнительное оборудование (в зависимости от комплектации): модуль звукового дублирования; комплект видеонаблюдения; светодиодное освещение; Wi-Fi оборудование; тревожная кнопка; USB-разъемы для мобильных устройств; информационное табло; рекламно-информационный монитор; комплект боковых стекол; система «безопасный город»</p>

В аналогичных таблицах приводится информация о следующих возможных вариантах элементов подсистем умной остановки: видеокамеры; USB-зарядка; уличная точка доступа Wi-Fi; ночные светильники; датчики пассажиропотока; вендинг; тревожная кнопка; автоматические раздвижные двери, которые входят в подсистемы умной остановки.

Всю представленную совокупность требований, изложенных выше представим в следующих подсистемах: подсистема управления умной остановки; подсистема мониторинга пассажиропотока; подсистема обеспечения безопасности; подсистема комфортного ожидания и подсистема информационного обмена (табл. 3).

Выбор оснащения подсистем умной остановки произведем на основе морфологического метода системы проектирования принятия решений.

Морфологический метод – это пример системного подхода в области изобретательства. Метод разработан известным швейцарским астрономом Ф. Цвикки в 1942 г. и нашел широкое применение в ракетостроении. Цель метода – создать условия, расширяющие об-



ласть поиска новых идей и решений проблемы, исходя из особенности строения (морфологии) совершенствуемого объекта [13-15].

Таблица 3 – 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, видеозащиты

В работе при проектировании умных остановок в ТПУ ГПТ использован морфологический метод. Представим основные этапы проектирования умной остановки:

1) информационное обеспечение пассажиров и комфортное ожидание транспортных средств ГПТ на остановочном пункте;

2) создание умных остановок в ТПУ ГПТ для обеспечения мультимодальных перевозок пассажиров;

3) составление списка элементов умной остановки, с дальнейшим их объединением в подсистемы;

4) составление морфологической карты в виде таблицы, которая включает в себя основные заголовки: наименование подсистемы, наименование элементов, входящих в подсистемы и возможные варианты реализации этих элементов;

5) последним этапом использования метода принятия решений при проектировании умной остановки является выбор наилучшего сочетания элементов в подсистемах умной остановки в соответствии с критериями выбора (элементы высокой надежности, элементы с соотношением «цена-качество», дорогостоящие элементы, элементы низкой стоимости с определенным сроком эксплуатации, элементы с высокими функциональными характеристиками). В таблице 4 представлена морфологическая карта подсистем и элементов умной остановки и возможные варианты их исполнения.

Выбор варианта оснащения умной остановки для каждой подсистемы проведем по двум критериям: по критерию наилучшей функциональной характеристики элемента и по критерию наименьшей стоимости элемента.

Зеленым цветом в таблице 4 обозначены элементы каждой подсистемы по критерию наилучшей функциональной характеристики: система освещения – вариант 1 (устройство обладает высокой рабочей температурой и низкой мощностью, стоимость: 1550 руб.); видеокамеры – вариант 2 (комплект видеонаблюдения обладает звуковой функцией, стоимость: 27700 руб.); система учета пассажиров – вариант 1 (устройство обладает высокой рабочей температурой, стоимость: 69500 руб.); USB-разъемы для мобильных устройств – вариант 2 (устройство обладает максимальным током 4А – быстрый заряд аккумулятора мобильного устройства, стоимость: 5000 руб.); Wi-Fi оборудование – вариант 1 (высокая скорость передачи информации, стоимость: 7100 руб.); остановочные павильоны – вариант 2 (закрытый остановочный павильон, оснащенный обогревателями); напольный вендинговый автомат используется в комбинации с кофейным автоматом – вариант 3 (стоимость: 495000 руб.); автоматические раздвижные двери – вариант 2; информационное табло – вариант 3 (максимальное количество символов в строке, стоимость: 77900 руб.); тревожная кнопка – вариант 1 (высокая рабочая температура).

Желтым цветом в таблице 4 обозначены элементы каждой подсистемы по критерию наименьшей стоимости элемента: система освещения – вариант 2 (стоимость: 1280 руб.); видеокамеры – вариант 1 (стоимость: 22900 руб.); система учета пассажиров – вариант 2 (стои-

мость: 55200); USB-разъемы для мобильных устройств – вариант 1 (стоимость: 3600 руб.); Wi-Fi оборудование – вариант 2 (стоимость: 7900 руб.); остановочные павильоны – вариант 1 (открытый остановочный павильон); настольный вендинговый автомат с кофе – вариант 1 (стоимость: 225000 руб.); автоматические раздвижные двери – вариант 1; информационное табло – вариант 1 (минимальное количество символов в строке, стоимость: 60450 руб.); тревожная кнопка – вариант 2. Разработка оснащения элементами реальных умных остановок выполняется системными инженерами.

Таблица 4 – Морфологическая карта подсистем и элементов умной остановки

Наименование подсистемы	Наименование элемента подсистемы	Возможные варианты исполнения элемента				
		1	2	3	4	5
Управление умной остановки	Система освещения	ЛУЧ-220-С 83 Ф Драйв	РВН-РС2-РС 12w SENSOR	ЛУЧ-220-С-103 ДФА1 Драйв	-	-
Мониторинг пассажиропотока	Видеокамеры	AHD PS-link KIT-C508HD	MiCam Tech 5044P	2MP ST-KIT-A122HD-L	-	-
	Система учета пассажиров	VIDEOMO BIL P3M	Hella Aglaia APS-B	-	-	-
Комфортное ожидание	USB-разъемы для мобильных устройств	<u>USBC2301b-220V</u>	<u>QC3.0 USBCQQ01b-220V</u>	<u>QC3.0 USBCQQ07b-220V</u>	<u>USBC2306b-220V</u>	-
	Wi-Fi оборудование	ComOnyx CF-E120A v3	Comfast CF-E314N V2	D-Link DAP-3310/RU	MikroTik RBwAPR-2nD	-
	Остановочные павильоны	Norgrad	ТД РУСМУЛЬТ ИМЕДИА	SMART CISTYLE	Городские инновации	Металл-Маркет
	Вендинг	TCN-NCF-4N (V10.1)	LEI 250 SMART	ARIA L EVO SLAVE	<u>Водолей Т Ретро Бизнес</u>	-
	Автоматические раздвижные двери	Стандартная раздвижная дверь ST FLEX	Телескопическая раздвижная дверь TST FLEX	Раздвижная дверь с механизмом анипаника SST FLEX	-	-
Информационный обмен	Информационное табло	ТО1-Р10-128x4	ТО1-64x4	ТО1-Р10-96x4	-	-
Обеспечение безопасности	Тревожная кнопка	Кнопка 112/SOS с 2х сторонней связью (1)	Кнопка 112/SOS с 2х сторонней связью (2)	-	-	-

### Выводы

Для правильного проектирования объектов транспортной инфраструктуры необходимо изучать соответствующие федеральные законы, государственные стандарты, своды правил и требования. Представлена характеристика остановочных пунктов, выделено 6 основных элементов, которые часто присутствуют на умных остановках: информационные табло; Wi-Fi оборудование и зарядные устройства; умные камеры и датчики; интерактивные экраны; электронная оплата и умный светофор. Определены и разработаны подсистемы умной остановки: подсистема управления умной остановки; подсистема мониторинга пассажиропотока; подсистема обеспечения безопасности; подсистема комфортного ожидания и подсистема информационного обмена. На данный момент ТПУ городов миллионников и их агломераций не оборудованы умными остановками, предложенными в статье. В работе предложена методика создания умной остановки с использованием метода проектирования принятия решений, который основан на мозговом штурме. Элементы умной остановки объединены в подсистемы. С помощью морфологического метода по двум критериям подобраны элементы умной остановки: критерий наилучшей функциональной характеристики элемента (общая

стоимость предлагаемых элементов: 684 тыс. руб.), обеспечивающий хороший уровень, разработанной системы и критерий наименьшей стоимости элемента (общая стоимость предлагаемых элементов: 377 тыс. руб.), обеспечивающий удовлетворительный уровень. Использование морфологических таблиц позволяет реализовать современный метод выбора модели с дальнейшим воплощением в реальный проект – умная остановка.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 395.1325800.2018. Транспортно-пересадочные узлы. Правила проектирования: издание официальное. Федер. агенство по тех. регулированию и метрологии. Москва: Минстрой России, 2018. 26 с.
2. Власов В.М. Цифровая инфраструктура как основа функционирования наземного городского пассажирского транспорта // Автотранспортное предприятие. 2016. №12. С. 3-7.
3. 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.
4. Власов В.М., Ефименко Д.Б., Богумил В.Н. Транспортная телематика в дорожной области: учеб. пособие. Москва: МАДИ, 2013. 80 с.
5. 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: Оренбургский гос. университет, 2023. С. 224-231.
6. Капский Д.В., Филиппова Н.А., Трофименко Ю.В. [и др.] Оценка воздействия изменения климата и климатических рисков в транспортных системах // ООО «Техполиграфцентр». Москва, 2023. 248 с.
7. Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта: Федеральный закон от 08.11.2007 № 259–ФЗ (ред. от 19.10.2023) (последняя редакция). Государственная Дума. 2007.
8. ГОСТ Р 52766-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. Введ. 01.07.2008. Москва: Изд-во стандартов, 2007. 34 с.
9. Табло для остановок общественного транспорта [Электронный ресурс]. URL: <https://distablo.ru/tablo-dlya-ostanovok-obschestvennogo-transporta.html>.
10. Остановочные комплексы «Norgrad» [Электронный ресурс]. URL: <https://norgrad.ru/ostanovochnye-kompleksy/>.
11. Мультимедийные решения ТД «РУСМУЛЬТИМЕДИА» [Электронный ресурс]. URL: <https://tdrmm.ru/>.
12. Модульные умные остановки «SMART CISTYLE» [Электронный ресурс]. URL: <https://smart.cistyle.ru/?yclid=5983659428581998591>.
13. Парыгин Д.С., Садовникова Н.П. Системы поддержки принятий решений: учеб. пособие. Волгоград: ВолгГТУ, 2023. 61 с.
14. Парыгин Д.С., Садовникова Н.П., Шабалина О.А. Информационно-аналитическая поддержка задач управления городом монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2017. 116 с.
15. Парыгин Д.С., Садовникова Н.П., Щерабков М.В. Системы поддержки принятий решений: учеб. пособие. Волгоград: ВолгГТУ, 2021. 108 с.

**Куликов Алексей Викторович**

Волгоградский государственный технический университет

Адрес: 400005, Россия, г. Волгоград, ул. Ленина, 28

К.т.н., доцент каф. «Автомобильные перевозки»

E-mail: v2xoda@ya.ru

---

A.V. KULIKOV

## DEVELOPMENT OF A DECISION-MAKING SYSTEM FOR THE DESIGN OF A SMART STOP AT TRANSPORT HUBS OF URBAN PASSENGER TRANSPORT

*Abstract. The article analyzes the characteristics of bus stops with the allocation of the properties of smart stops in the transport hubs of the unified transport system of the city and agglomeration. The requirements for smart stops are formed, and decision-making methods are presented*

*when designing an information system for a smart stop. The use of morphological tables allows you to make a decision or select several solutions that determine good or satisfactory levels of development of smart stop systems. It is proposed to use the morphological method for designing various information components of a unified transport system.*

**Keywords:** *transport hubs, transport design, smart stop, morphological method, urban passenger transport, passengers, decision-making system, subsystem, an element of the transport system*

## **BIBLIOGRAPHY**

1. SP 395.1325800.2018. Transportno-peresadochnye uzly. Pravila proektirovaniya: izdanie ofitsial'noe. Feder. agencstvo po tekhn. regulirovaniyu i metrologii. Moskva: Minstroy Rossii, 2018. 26 s.
2. Vlasov V.M. Tsifrovaya infrastruktura kak osnova funktsionirovaniya nazemnogo gorodskogo passazhirskogo transporta // Avtotransportnoe predpriyatie. 2016. №12. S. 3-7.
3. 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.
4. Vlasov V.M., Efimenko D.B., Bogumil V.N. Transportnaya telematika v dorozhnoy oblasti: ucheb. posobie. Moskva: MADI, 2013. 80 s.
5. 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: Orenburgskiy gos. universitet, 2023. S. 224-231.
6. Kapskiy D.V., Filippova N.A., Trofimenko YU.V. [i dr.] Otsenka vozdeystviya izmeneniya klimata i klimaticheskikh riskov v transportnykh sistemakh // OOO «TekhpoliGRAFTSentr». Moskva, 2023. 248 s.
7. Ustav avtomobil'nogo transporta i gorodskogo nazemnogo elektricheskogo transporta: Federal'nyy zakon ot 08.11.2007 № 259-FZ (red. ot 19.10.2023) (poslednyaya redaktsiya). Gosudarstvennaya Duma. 2007.
8. GOST R 52766-2007. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Elementy obustroystva. Obshchie trebovaniya. Vved. 01.07.2008. Moskva: Izd-vo standartov, 2007. 34 s.
9. Tablo dlya ostanovok obshchestvennogo transporta [Elektronnyy resurs]. URL: <https://distablo.ru/tablo-dlya-ostanovok-obshchestvennogo-transporta.html>.
10. Ostanovochnye komplekсы «Norgrad» [Elektronnyy resurs]. URL: <https://norgrad.ru/ostanovochnye-komplekсы/>.
11. Mul'timediynye resheniya TD «RUSMUL'TIMEDIA» [Elektronnyy resurs]. URL: <https://tdrmm.ru/>.
12. Modul'nye umnye ostanovki «SMART CISTYLE» [Elektronnyy resurs]. URL: <https://smart.cistyle.ru/?yclid=5983659428581998591>.
13. Parygin D.S., Sadovnikova N.P. Sistemy podderzhki prinyatiy resheniy: ucheb. posobie. Volgograd: VolgGTU, 2023. 61 s.
14. Parygin D.S., Sadovnikova N.P., Shabalina O.A. Informatsionno-analiticheskaya podderzhka zadach upravleniya gorodom monografiya. Volgograd: VolgGTU, 2017. 116 s.
15. Parygin D.S., Sadovnikova N.P., Shcherabkov M.V. Sistemy podderzhki prinyatiy resheniy: ucheb. posobie. Volgograd: VolgGTU, 2021. 108 s.

### **Kulikov Alexey Viktorovich**

Volgograd State Technical University

Address: 400005, Russia, Volgograd, Lenin str., 28

Candidate of Technical Sciences

E-mail: v2xoda@ya.ru

Научная статья

УДК 625.855

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-12-19

М.Д. КАБАЛИН, В.А. ТОКАРЕВ, Л. ЧУНЬГУАН, М.С. ЮДИНА

## РЕЦИКЛИНГ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ ТРАНСПОРТНО-ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНА. ОБЗОР

**Аннотация.** Публикация носит обзорный характер и посвящена рециклингу асфальто- и цементобетон для строительства объектов транспортно-дорожного комплекса. Рассматриваются вопросы эффективности, экологической и технической целесообразности возврата в технологический процесс производства дорожно-строительных материалов вторичного сырья. В качестве методов исследования используются: патентный поиск, систематизация, описание и анализ. Аналитический обзор информации выполняется по результатам отечественных и зарубежных статей, связанных с темой вторичных заполнителей и практического опыта их использования. В статье описываются как использующиеся в отрасли подходы к использованию асфальтового и бетонного лома, так возможные перспективы их внедрения. Полученные результаты демонстрируют перспективность рециклинга в строительстве дорог транспортно-дорожного комплекса регионов.

**Ключевые слова:** рециклинг, асфальтобетонный лом, бетонный лом, вторичный заполнитель, транспортно-дорожный комплекс

### **Введение**

Устойчивое развитие – это удовлетворение потребностей человека, реализуемых в рамках технического прогресса с минимальными экологическими, технологическими и экономическими издержками. В этом разрезе, передвижение и транспорт являются ключевой потребностью современного человека. Реализация обозначенной потребности осуществляется посредством строительства и поддержания в работоспособном состоянии транспортной инфраструктуры как страны, так и отдельных регионов, где доминирующим элементом является дорожная сеть.

### **Материал и методы**

Диагностика транспортной инфраструктуры любой страны осуществляется на основе мониторинга качественных и количественных показателей системы. И если качественная составляющая автомобильной дороги в соответствии с ОДН [1] – это степень соответствия комплекса показателей технического уровня, эксплуатационного состояния, инженерного оборудования и обустройства, а также уровня ее содержания нормативным требованиям, т.е. регламентируется соответствующей нормативной отраслевой базой. Количественные же показатели транспортной инфраструктуры, к числу которых относятся: протяжённость путей сообщения, численность населения, занятого в сегменте, грузооборот и пассажирооборот, – не имеют нормативной базы, но должны быть пропорциональны и тесно увязаны с численностью населения, так как являются индикатором благополучности региона и его экономического развития.

По данным Организации Объединенных Наций, изложенным в [2], к 2050 году население планеты может достичь 9,7 миллиарда человек, причем прогнозируется [3], что 70 % из них будут проживать в городах. Таким образом, для удовлетворения потребности человечества в транспортной логистике потребуется более развитая новая транспортная сеть, пронизывающая страны и континенты, а также значительные ресурсы для поддержания качественных показателей существующих транспортных объектов.

### **Теория**

С точки зрения воздействия на окружающую среду и потребления природных ресурсов дорожная отрасль [4-8] вносит значимый вклад. Отмечается [9, 10], что углеродный след от хозяйственной деятельности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог настолько велик, что является серьезной проблемой, определяющей экономику и влияющей на климатические изменения многих стран. Есть мнение [11], что при сохранении ныне существующего агрессивного природопользования и извлечения природных сырьевых ресурсов к 2060 году объем потребления минеральных и рудных полезных ископаемых может достичь 167 гигатонн.

Учитывая объемы строительных и ремонтных работ по обеспечению функционирования транспортного комплекса во многих странах мира, темпы истощения экосистемы рисуются ужасающие. При этом, необходимо понимать, что строительство дорог сопряжено не только с добычей, переработкой и транспортировкой природных ресурсов. Осуществление каждой из обозначенных технологических операций требует значительного объема энергетических ресурсов: газ, электроэнергия, топливо, а также воды.

Загигивая вопросы роста транспортной инфраструктуры многих государств, как следствие уровня урбанизации [12-14], необходимо отметить пропорциональный рост отходов строительства и сноса, образующихся при разрушении зданий, дорог и мостов, исчерпавших свой жизненный ресурс или подвергшихся деструкции в процессе природных и техногенных катастроф. По данным [14] ежегодно в Европейском союзе (ЕС) образуется порядка 450 мил. тонн отходов строительного происхождения, из которых только 28 % перерабатываются, а остальные 72 % выбрасываются на свалки. Только во Франции [15] в 2014 году было зафиксировано более 227,5 млн. тонн строительных отходов. Более оптимистичная ситуация прослеживается в «высокоразвитых странах» таких как США, Дания, Нидерланды и Сингапур, в соответствии с опубликованными данными [16], объемы переработки такого вторичного строительного сырья достигает 70-95 %.

Обратная картина характерна для стремительно и динамично развивающихся стран: Индии и Китая [17-19]. В Китае вклад строительного вторичного сырья составляет порядка 30-40 % от общего объема муниципальных отходов с долей подлежащей переработки около 5 % [18]. В 2013 году в Индии в Нью-Дели было только официально зафиксировано складирование более 530 миллионов тонн разнообразных строительных отходов [17].

В соответствии с различными источниками [20-22], в России за год образуется более 100 млн тонн отходов промышленного производства. По итогам 2021 года в Российской Федерации обнаружено порядка 15 тыс. незаконных свалок. По состоянию на 2022 год, общая площадь свалок в России составила около 4 млн. га. Важность и острота проблемы побудила отраслевых регуляторов к разработке цикла нормативных документов и отраслевых программ, таких как «Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов в промышленном производстве». Также сформирован важный отраслевой документ: Паспорт Отраслевой программы по применению вторичных ресурсов в сфере строительства и ЖКХ на период 2022-2030 гг. В соответствии с сформулированной концепцией, к 2030 году доля строительных отходов, использование которых повторно возможно в строительной индустрии как гражданской, так и транспортно-дорожной, должна составлять 40 %. Целевые показатели: увеличение доли используемого вторсырья в промышленности к 2024 году до 15 %, а к 2030 году – до 34 % .

Таким образом, динамичное и устойчивое развитие дорожно-транспортного сектора требует перехода к технологиям «зеленого развития» [23-25], подразумевающим снижение прессинга на окружающую среду и уменьшение углеродного следа, а также реформ в сфере производства экологически чистых, экономичных строительных материалов и технологиях работы с ними. Обозначенные позиции в сфере дорожного строительства отвечают актуальной повестке современности по развитию биопозитивной экономики с переходом к биопозитивным технологиям и социальной инфраструктуре [24]. Подобный переход нацелен на позитивную трансформацию современных технологий, которые сегодня приобрели разрушающий



характер. Понятие «биопозитивный» – это совокупность товаров, объектов, технологий и услуг, соответствующих стандартам «зеленого развития», требующих ответственного нравственного подхода на всех этапах их разработки и создания. Другими словами, это объекты приложения энергии человека с минимальным разрушением природы и использованием энергосберегающих технологий. Реализация биопозитивных технологий должна сопровождаться: экономией ресурсов, не требовать для изготовления объектов невозобновимых ресурсов, максимально вовлекать вторичное сырье, не создавать преград для оборота потоков веществ и энергии в экосистемах, не выделять перерабатываемых природной средой загрязнений, создавать высокое качество жизни для человека.

Таким образом, системный и последовательный подход в изучении вторичного строительного сырья может стать альтернативой на пути сокращения объемов вовлекаемых в отрасль первичных сырьевых ресурсов: минеральных материалов, сокращения энергетических ресурсов и уменьшения углеродного следа от производственной деятельности.

В ходе аналитического исследования выполнен поиск и анализ современных отечественных и зарубежных источников, посвященных вопросам применения вторичного заполнителя из асфальто- и цементобетона в дорожно-строительной отрасли. Рассмотрены экономические и экологические аспекты, сопряженные с внедрением в дорожно-строительный сектор рециклинга асфальто- и цементобетонов, как ключевого элемента стратегии ресурсосбережения и реализации принципов биопозитивных технологий. Освещен мировой опыт, базирующийся на реальных производственных проектах.

#### ***Результаты и обсуждение***

Стремительный прирост объемов строительного техногенного сырья и возрастающий спрос на дорожно-строительную продукцию при строительстве дорог транспортно-дорожного комплекса региона определяют интерес к альтернативным источникам получения заполнителей и наполнителей, а также обуславливают необходимость их вовлечения в технологический процесс производства асфальто- и цементобетонов.

Рассмотрим два ключевых источника вторичного сырья, целесообразность рециклинга которых не вызывает сомнений: вторичный асфальтобетон и лом бетонных изделий.

Вторичный асфальтобетон – это эффективный материал, лежащий в основе формирования асфальтогранулобетонных смесей (АГБС) или органоминеральных смесей (ОМС). В основу каждого из композитов положен асфальтогранулят (АГ) – щебеночный материалы, зацементированный раствором частью из песка и битумного вяжущего. Также присутствуют: минеральные зерна, покрытые битумом, обнаженные щебенки или разрушенные в процессе фрезерования покрытия.

Согласно асфальтогранулобетон (ОМС или АГБ) рассматривается как композиционный материал, в котором грубодисперсная фаза состоит из полизернистых зерен асфальтогранулята (АГ) или переработанного асфальтобетона (RAP), функцию дисперсной среды выполняет вяжущее вещество.

Методологический подход к классификации, изготовлению, испытанию, агрегатному составу композита, а также типу и количеству вяжущих компонентов определяет соответствующий комплект нормативной документации, по которой работает заказчик. Не зависимо от используемой нормативной базы состав асфальтогранулята должен включать в себя зерна определенных фракций. Отклонение от рекомендаций повлечет за собой, формирование смеси неправильной структуры и, как следствие, с заниженными параметрами конечного композита. Для корректного формирования структуры содержание асфальтогранулята должно быть не менее 60 %.

Наиболее перспективными смесями из асфальтогранулята являются типы «М» и «К». Однако, есть мнение, что применение комбинации органического и неорганического вяжущих, для смесей типа «К» наиболее предпочтительны для дорог с небольшой интенсивностью движения. При этом рассматриваемый регион - республика Алтай, для которой характе-

рен резко континентальный климат. Отмечается, что использование битумной эмульсии и цемента при приготовлении смесей – ключевой параметр в вопросах формирования прочности слоя покрытия из асфальтогранулобетона и разработке технологических процессов укладки. Вариации в содержании цемента в вяжущем материале изменяют деформативность и жесткость уплотняемого слоя и должно учитываться при выборе параметров уплотняющих машин. Зависимость параметров уплотнения смеси в покрытии от концентрации цемента была также отмечена рядом исследователей.

Стоит отметить, что мнение касательно асфальтогранулобетонных смесей типа М, разделяет ряд исследователей. Отмечается, что такие композиты характеризуются высокими показателями прочности, однако их использование сопряжено с появлением температурных трещин или растрескиванием. Гидратация цемента, протекающая в несколько этапов и качественно меняющая технологические свойства смеси определяет необходимость оценки ее технологического состояния для уплотнения без нарушения формирующейся кристаллической структуры.

Компенсировать жесткость формируемого цементного камня в композите предлагается посредством комплексного использования органического и неорганического вяжущих. Приобретение композитом упругости происходит вследствие появления в структуре свободного битума между зернами материала, однако такой подход сопровождается негативными эффектами в виде падения прочности композита. Подобные процессы, очевидно, сопряжены с тем, что, распадаясь битумная эмульсия распределяется в точечном порядке и в объеме образца неоднородно, формируя коагуляционные связи. При этом уплотнение осуществляется непродолжительное время. Позже, после испарения воды из слоя покрытия, будет увеличиваться пустотность композита и ослабление связей.

Анализируя вышеизложенное, возможно отметить, что вопрос эффективности используемых тех или иных вяжущих в составе асфальтогранулобетонных смесей является в настоящий момент спорным и дискуссионным. Однако, очевидно, что подобная технология способствует сокращению объемов вовлекаемых в отрасль первичных сырьевых ресурсов и отвечает актуальной повестке современности по переходу к технологиям «Замкнутого цикла» и социальной инфраструктуре, нацеленным на защиту среды обитания человека.

Таким образом, рециклинг позволяет вовлекать существующие слои дорожной одежды из асфальтобетона практически в полном объеме, что обусловило широкое применение данных технологий в регионе.

Рассмотрим вопросы рециклинга бетонных элементов и его применимость в транспортно-дорожном комплексе региона.

Темпы роста строительного сектора страны продолжают оставаться на высоком уровне, однако, как следствие, пропорционально увеличиваются и объемы вторичного сырья, а также мусора, которые остаются после строительства. И если в части оборота и возврата в отрасль асфальтобетона сформированы отраслевые нормативы и требования, то единого подхода к мониторингу этапов формирования и утилизации бетонного лома в регионах страны до сих пор не существует, хотя именно бетонное вторсырье и строительные отходы составляют подавляющую часть на полигонах.

В отличие от гражданского строительства, где к бетонным изделиям предъявляют жесткие требования на этапе входного контроля к сырьевым материалам, так и к конечным изделиям, дорожная отрасль, являясь также потребителем бетонных смесей может обеспечить реализацию технологии замкнутого цикла с максимальным вовлечением рециклинга бетона и строительного вторичного сырья. По нашему мнению подобный подход наиболее эффективен для производства мелкоштучных бетонных изделий таких как: тротуарная плитка, брусчатка, камни для мощения, ограждения, бордюрные камни, а также малые архитектурные формы (МАФы).

Целесообразность вовлечения в мелкоштучные изделия бетонного сырья после рециклинга обусловлена более низкими требованиями к их прочностным и эксплуатационным показателям.

Выполненный научный поиск и аналитический обзор позволяют утверждать, что тематика применения переработанных материалов для производства бетонных мелкоштучных изделий в России проработана слабо. Известен опыт изготовления бордюрного камня из переработанного бетона на базе филиала Сибирского федерального университета. Полученные данные продемонстрировали, что используемый вторичный материал после рециклинга, позволяет получать изделие, по своим характеристикам не уступающее изделиям на кондиционном сырье по прочностным характеристикам и уступают при испытаниях на изгиб.

Анализ европейского опыта внедрения бетонного лома демонстрирует, что заполнитель из бетонного лома оказывает дифференцированное влияние на показатели свойств конечного изделия, однако исследователи едины в утверждении, что это вторичное сырье может быть использовано для производства тротуарной плитки и бордюрного камня.

Также исследователи единодушны, что изделия из бетонного лома склонны проявлять большее водопоглощение, чем аналоги, выполненные на кондиционном сырье, при этом прочность сцепления между цементным камнем и заполнителем возрастают. Эти особенности необходимо учитывать при проектировании составов бетонных смесей и обязательно учитывать допустимый коэффициент замены кондиционного сырья бетонным ломом.

Выполненные по такой технологии блоки, бордюры и брусчатка, широко используются на территории Пиренейского полуострова. Мониторинг изделий показал, ни в одном из изделий трещин, шелушения поверхности, значимых различий в текстуре между образцами выявлено не было.

### **Вывод**

В последнее время рынок дорожно-строительной отрасли динамично наполняется новыми технологиями как строительства, так и производства дорожно-строительных композитов. Ряд технологий нацелен на выпуск продукции высокого качества, другие направлены на достижение экономических выгод, а третьи призваны к сокращению углеродного следа от хозяйственной деятельности и защите окружающей среды.

Применение асфальтовой крошки в деятельности производственного предприятия гарантирует получение всех перечисленных выше плюсов, используя при этом, казалось бы, уже непригодное для дальнейшего использования дорожное полотно.

Очевидно, что более 90 % остающихся после хозяйственной деятельности человека вторичного асфальта и бетона являются полноценным строительным материалом. Применение асфальтового и бетонного лома в качестве заполнителя является рациональным решением, соответствующим принципам устойчивого развития и замкнутого цикла производств.

В связи с чем, ключевая задача отраслевых специалистов не только максимально вернуть в технологический цикл производства композитов дорожного назначения асфальто- и цементобетон после рециклинга, но и разработать эффективные технологии, позволяющие нивелировать особенности вторичного сырья, так как подобный подход – это экологически ответственный и экономически обоснованный шаг на пути развития дорог транспортно-дорожного комплекса регионов.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ОДН 218.0.006-2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. М.: РОСАВТОДОР, 2002. 138 с.
2. World Population Prospects 2019. Department of Economic and Social Affairs [Электронный ресурс]. URL: <https://www.un.org/development/desa/pd/news/world-population-prospects-2019-0>.
3. Broo D.G. [et al.] Built environment of Britain in 2040: Scenarios and strategies // Sustainable Cities and Society. 2021. Vol. 65. P. 102645. DOI:10.1016/j.scs.2020.102645.
4. Шукуров М.М. [и др.] Дорожно-транспортный комплекс, и их воздействие на окружающую среду // ORIENSS. 2021. №4. С. 689-696.
5. Иванов Д.А., Михайлов А.В. Экология дорожного строительства: Баланс развития инфраструктуры и охраны окружающей среды // Вестник науки. 2023. №6(63). С. 852-857.

6. Рябова О.В., Подольский В.П. Мониторинг лесных экосистем в зоне влияния автомобильной дороги // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2012. №1(25). С. 148-153.
7. Лукашевич О.Д. [и др.] Пути повышения экологической безопасности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог // Вестник ТГАСУ. 2020. №5. С. 200-210. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210
8. Шестаков Н.И. Экологические особенности обращения с объектами дорожно-строительного комплекса // Вестник МГСУ. 2021. №9. С. 1217–1227. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1217-1227.
9. Shaopeng W., Xiaoming H., Yong-li Zh. The development of recycling agent for asphalt pavement // Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition. 2002. Vol. 17(3). P. 63-65. DOI:10.1007/BF0283854
10. Zhu W.J. The Status of China's Construction Industry in the National Economy, Its Current Development, and Financial Service Strategies // Chinese and Foreign Entrepreneurs. 2018. Vol. 4. P. 6-8.
11. Bamigboye G.O. [et al.] Waste materials in highway applications: An overview on generation and utilization implications on sustainability // Journal of Cleaner Production 2021. Vol. 283(3). P. 124581. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.124581.
12. Юров С.В. [и др.] Динамика урбанизации в мире и в России // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. №12-2 (106). DOI: 10.24412/2411-0450-2023-12-2-238-243.
13. Zhang J. [et al.] Recycled aggregates from construction and demolition wastes as alternative filling materials for highway subgrades in China // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 255(1). P. 120223 DOI:10.1016/j.jclepro.2020.120223.
14. Zainul Abedin K., Umashankar B., Susanga C. Environmental feasibility and implications in using recycled construction and demolition waste aggregates in road construction based on leaching and life cycle assessment – A state-of-the-art review // Cleaner Materials. 2024. Vol. 12. P. 100239. DOI:10.1016/j.clema.2024.100239.
15. Mazhoud B. [et al.] Influence of residual mortar volume on the properties of recycled concrete aggregates // Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 57. P. 104945. DOI:10.1016/j.job.2022.104945.
16. Huang B. [et al.] Construction and demolition waste management in China through the 3R principle // Resources Conservation and Recycling. 2018. Vol. 129. P. 36–44. DOI:10.1016/j.resconrec.2017.09.029.
17. Shiva Bhushan J.Y.V., Parhi P.S., Umashankar B. Geotechnical Characterization of Construction and Demolished (C&D) Waste // Lecture Notes in Civil Engineering. Springer Singapore. 2019. Vol. 1. P. 27-34. DOI:10.1007/978-981-13-0899-4\_4.
18. Lim S.M. [et al.] Recyclability potential of waste plastic-modified asphalt concrete with consideration to its environmental impact // Construction and Building Materials. 2024. Vol. 439. P. 137299. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2024.137299.
19. Mazhoud B. Influence of residual mortar volume on the properties of recycled concrete aggregates // Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 57. P. 104945 DOI:10.1016/j.job.2022.104945.
20. Будатаров С., Нецадимов Н., Завьялов С. Стройкам стоит разобраться // Коммерсант. 2022. «Регенерация». Приложение №106. С. 8.
21. Рециклинг строительных отходов и его потенциал в России [Электронный ресурс]. URL: <https://garantbs.ru/recikling-stroitelnyh-othodov-i-ego-potencial-v-rossii/>.
22. Олейник С.П. Объемы и источники образования отходов строительства и сноса [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2016. Том 3. № 1. URL: <http://dx.doi.org/10.15862/02RRO116>.
23. Иванов Д.А., Михайлов А.В. Экология дорожного строительства: Баланс развития инфраструктуры и охраны окружающей среды // Вестник науки. 2023. №6 (63). С. 852-857.
24. Шестаков Н.И. [и др.] Экологические особенности обращения с объектами дорожно-строительного комплекса // Вестник МГСУ. 2021. №9. С. 1217–1227. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1217-1227.
25. Кондауров Р.А. Результаты верификации многолетнего экологического мониторинга и прогнозирования полей загрязнения зоны влияния автомобильных дорог // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2013. №4(32). С. 85-91.

**Кабалин Максим Дмитриевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

Аспирант

E-mail: Maksipit13@gmail.com

**Токарев Владимир Алексеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

Аспирант

E-mail: tokareva161@mail.ru

**Лю Чуньгуан**

Донской институт ШТУ-ДГТУ Шаньдунского транспортного университета

Адрес: Китай, Цзинань, Хайтан Роуд 5001

К.т.н., доцент, директор

E-mail: 742906887@qq.com

**Юдина Марина Сергеевна**

Донской государственный технический университет

Адрес: 344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

К.т.н., доцент, доцент кафедры Иностранный язык в сфере технических наук и технологий

E-mail: mclavender1984@gmail.com

M.D. KABALIN, V.A. TOKAREV, CHUNGUANG LIU, IUDINA M.S.

**RECYCLING IN THE CONSTRUCTION OF ROADS OF THE TRANSPORT  
AND ROAD COMPLEX OF THE REGION. REVIEW**

**Abstract.** The publication is of an overview nature and is devoted to the recycling of asphalt and cement concrete for the construction of transport and road complex facilities. The issues of efficiency, environmental and technical feasibility of returning recycled materials to the technological process of production of road construction materials are considered. The following research methods are used: patent search, systematization, description and analysis. An analytical review of the information is carried out based on the results of domestic and foreign articles related to the topic of secondary placeholders and practical experience in their use. The article describes both the approaches used in the industry to the use of asphalt and concrete scrap, as well as possible prospects for their implementation. The results obtained demonstrate the prospects of recycling in the construction of roads of the transport and road complex of the regions.

**Keywords:** recycling, asphalt concrete scrap, concrete scrap, secondary aggregate, transport and road complex

**BIBLIOGRAPHY**

1. ODN 218.0.006-2002. Pravila diagnostiki i otsenki sostoyaniya avtomobil'nykh dorog. M.: ROSAVTODOR, 2002. 138 s.
2. World Population Prospects 2019. Department of Economic and Social Affairs [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.un.org/development/desa/pd/news/world-population-prospects-2019-0>.
3. Broo D.G. [et al.] Built environment of Britain in 2040: Scenarios and strategies // Sustainable Cities and So-ciety. 2021. Vol. 65. P. 102645. DOI:10.1016/j.scs.2020.102645.
4. Shukurov M.M. [i dr.] Dorozhno-transportnyy kompleks, i ikh vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu // ORIENSS. 2021. №4. S. 689-696.
5. Ivanov D.A., Mikhaylov A.V. Ekologiya dorozhnogo stroitel'stva: Balans razvitiya infrastruktury i okhrany okruzhayushchey sredy // Vestnik nauki. 2023. №6(63). S. 852-857.
6. Ryabova O.V., Podol'skiy V.P. Monitoring lesnykh ekosistem v zone vliyaniya avtomobil'noy dorogi // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2012. №1(25). S. 148-153.
7. Lukashevich O.D. [i dr.] Puti povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti pri stroitel'stve i ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog // Vestnik TGASU. 2020. №5. S. 200-210. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210
8. Shestakov N.I. Ekologicheskie osobennosti obrashcheniya s ob'ektami dorozhno-stroitel'nogo kompleksa // Vestnik MGSU. 2021. №9. S. 1217-1227. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1217-1227.
9. Shaopeng W., Xiaoming H., Yong-li Zh. The development of recycling agent for asphalt pavement // Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition. 2002. Vol. 17(3). P. 63-65. DOI:10.1007/BF0283854
10. Zhu W.J. The Status of China's Construction Industry in the National Economy, Its Current Development, and Financial Service Strategies // Chinese and Foreign Entrepreneurs. 2018. Vol. 4. P. 6-8.
11. Bamigboye G.O. [et al.] Waste materials in highway applications: An overview on generation and utilization implications on sustainability // Journal of Cleaner Production 2021. Vol. 283(3). P. 124581. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.124581.
12. YUrov S.V. [i dr.] Dinamika urbanizatsii v mire i v Rossii // Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. 2023.

№12-2 (106). DOI: 10.24412/2411-0450-2023-12-2-238-243.

13. Zhang J. [et al.] Recycled aggregates from construction and demolition wastes as alternative filling materials for highway subgrades in China // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 255(1). P. 120223 DOI:10.1016/j.jclepro.2020.120223.

14. Zainul Abedin K., Umashankar B., Susanga C. Environmental feasibility and implications in using recycled construction and demolition waste aggregates in road construction based on leaching and life cycle assessment - A state-of-the-art review // *Cleaner Materials*. 2024. Vol. 12. P. 100239. DOI:10.1016/j.clema.2024.100239.

15. Mazhoud B. [et al.] Influence of residual mortar volume on the properties of recycled concrete aggregates // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 57. P. 104945. DOI:10.1016/j.jobbe.2022.104945.

16. Huang B. [et al.] Construction and demolition waste management in China through the 3R principle // *Resources Conservation and Recycling*. 2018. Vol. 129. P. 36-44. DOI:10.1016/j.resconrec.2017.09.029.

17. Shiva Bhushan J.Y.V., Parhi P.S., Umashankar B. Geotechnical Characterization of Construction and Demolished (C&D) Waste // *Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer Singapore. 2019. Vol. 1. P. 27-34. DOI:10.1007/978-981-13-0899-4\_4.

18. Lim S.M. [et al.] Recyclability potential of waste plastic-modified asphalt concrete with consideration to its environmental impact // *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 439. P. 137299. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2024.137299.

19. Mazhoud B. Influence of residual mortar volume on the properties of recycled concrete aggregates // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 57. P. 104945 DOI:10.1016/j.jobbe.2022.104945.

20. Budatarov S., Neshchadimov N., Zav'yalov S. Stroykam stoit razobrat'sya // *Komersant*. 2022. «Regeneratsiya». Prilozhenie №106. S. 8.

21. Retsikling stroitel'nykh otkhodov i ego potentsial v Rossii [Elektronnyy resurs]. URL: <https://garantbs.ru/recikling-stroitelnyh-othodov-i-ego-potencial-v-rossii/>.

22. Oleynik S.P. Ob"emy i istochniki obrazovaniya otkhodov stroitel'stva i snosa [Elektronnyy resurs] // *Internet-zhurnal "Otkhody i resursy"*. 2016. Tom 3. № 1. URL: <http://dx.doi.org/10.15862/02RRO116>.

23. Ivanov D.A., Mikhaylov A.V. Ekologiya dorozhnogo stroitel'stva: Balans razvitiya infrastruktury i okhrany okruzhayushchey sredy // *Vestnik nauki*. 2023. №6 (63). S. 852-857.

24. Shestakov N.I. [i dr.] Ekologicheskie osobennosti obrashcheniya s ob"ektami dorozhno-stroitel'nogo kompleksa // *Vestnik MGSU*. 2021. №9. S. 1217-1227. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1217-1227.

25. Kondaurov R.A. Rezul'taty verifikatsii mnogoletnego ekologicheskogo monitoringa i prognozirovaniya poley zagryazneniya zony vliyaniya avtomobil'nykh dorog // *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. №4(32). S. 85-91.

**Kabalin Maxim Dmitrievich**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova St., 46  
Postgraduate student  
E-mail: Maksipit13@gmail.com

**Tokarev Vladimir Alekseevich**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova St., 46  
Postgraduate student  
E-mail: tokareva161@mail.ru

**Liu Chunguang**

Don State University ShTU-DSTU  
Address: China, Jinan, Haitang Road 5001  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: 742906887@qq.com

**Iudina Marina Sergeevna**

Don State Technical University,  
Rostov-on-Don, Russia  
Address: 344002, Rostov-on-Don, 162, Socialisticheskaya St.,  
Candidate of Philological Sciences  
e-mail: mclavender1984@gmail.com



---

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК**

---

Научная статья

УДК 656.135.5

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-20-27

М.А. КОПЫЛОВ

**КОМПЛЕКС РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ  
ДЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГРУЗОВ**

***Аннотация.** Рассмотрены применяемые и предлагаемые методы разгрузки автотранспортного средства при транспортировке крупногабаритных грузов. С целью совершенствования процесса разгрузки крупногабаритных грузов цилиндрической формы предложен к рассмотрению разгрузочный Комплекс, сокращающий временные и финансовые затраты на данном этапе транспортировки, а также уменьшающий долю физического труда человека в процессе наряду с повышением его безопасности.*

***Ключевые слова:** разгрузка транспортного средства, крупногабаритный груз, оптимизация процесса разгрузочных работ*

**Введение**

В настоящее время на территории Российской Федерации реализуется значительное количество крупных инвестиционных проектов. На разных стадиях строительства находятся «Восточная газовая программа» (строительство трубопровода «Сила Сибири-2»); инвестпроект «Зеленая энергетика»: ветропарки на территории Российской Федерации; Курская АЭС-2; Ленский мост вблизи города Якутска и т.д. [1, 2].

Реализация крупных инвестиционных проектов обуславливает потребность транспортировки к данным объектам строительства цилиндрических крупногабаритных грузов различной номенклатуры (трубы большого диаметра, секции башен ветроэлектрогенераторов, фрагменты мостов и прочее) [3].

В данной статье предлагается рассмотреть способ оптимизации одного из этапов доставки крупногабаритного цилиндрического груза, а именно этапа разгрузочных работ.

Цель исследования - поиск наиболее эффективного способа разгрузки транспортного средства при перевозке крупногабаритного цилиндрического груза.

Технической задачей является разработка усовершенствованного разгрузочного устройства для крупногабаритного цилиндрического груза.

**Материал и методы**

В основе статьи использовались теоретические методы изучения и анализа источников информации о погрузочно-разгрузочных работах при транспортировке крупногабаритных грузов.

Учитывая, что существует множество способов выполнения погрузки и разгрузки данного вида груза, которые можно комбинировать или использовать по отдельности, необходимо отметить, что технология погрузочных работ отличается от технологии разгрузочных работ.

Применяя системный подход, предлагается рассмотреть инновационный алгоритм работы и модель системы, предназначенной для разгрузочных работ, связанных с крупногабаритными цилиндрическими грузами.

Разгрузочные работы, связанные с доставкой крупногабаритных грузов это один из важнейших и ресурсозатратных этапов транспортировки. Для выполнения данного этапа нужна специализированная подъёмная техника и оборудование [4, 5], управляемые квалифицированным персоналом, обладающим соответствующими допусками. Весь процесс занимает достаточно много времени, являясь иногда небезопасным для участников [6, 7].

Поэтому, в рамках данной статьи рассмотрено и предложено устройство позволяющее повысить эффективность работ с точки зрения экономии временных, рабочих и финансовых ресурсов именно на этом этапе.

При анализе материалов, посвящённым разгрузочным работам [4, 5, 8, 9] и устройствам, предназначенным для транспортировки крупногабаритных грузов [10-12], сделан вывод, что на сегодня основным способом разгрузки транспортных средств, перевозящих крупногабаритные цилиндрические грузы, является способ верхней разгрузки при помощи специализированной подъёмной техники (обычно это подъёмные краны) и оборудование (грузо-захватные приспособления) [2].

Однако, различными специалистами рассматривался и способ разгрузки при помощи специальной платформы, которая размещается под грузом, жестко соединенная с грузом. Платформа имеет колеса (платформа после загрузки груза остается на прицепе транспортного средства, а колеса снимаются) [13].

Интересные конструкции и решения для погрузо-разгрузочных работ крупногабаритных грузов на борт летательных аппаратов с применением эстакад предложены группой ульяновских разработчиков [14, 15].

Зарубежными и отечественными изобретателями предложены конструкции само-разгрузочной платформы: грузовая платформа, расположена на направляющей, на которой установлены исполнительный механизм с толкателем для продвижения груза. На противоположных торцевых концах кузова транспортного средства, расположены ролики, обеспечивающие движение троса, проходящего через них и направляющие. Движение груза при разгрузке обеспечивается за счёт толкателя и контролируется тросом [16].

Также в процессе анализа возможности построения комбинированных транспортных средств для транспортировки крупногабаритных грузов предложены передовые технологии (в отраслях промышленного судостроения, нефтегазовой отрасли, энергетики, добывающей промышленности) - комбинированные транспортные средства, которые сконструированы из самоходных и несамоходных транспортных сегментов. Самоходные сегменты оборудуются гидравлической трансмиссией. Крупногабаритный груз находится на специальных поддонах (подушках) над землёй, с помощью активной гидроподвески опор груз может быть загружен без помощи кранов. Выгрузка осуществляется также как и погрузка за счёт опускания и подъема подвески. Система активной гидроподвески обеспечивает горизонтальное расположение груза, минимальные колебания. Специальное противоразрывное устройство обеспечивает надежную работу всей гидросистемы в случае, если один из шлангов разорвется в процессе одного из этапов транспортировки. Такие транспортные системы имеют рулевое управление с приводом на каждую колесную опору [17].

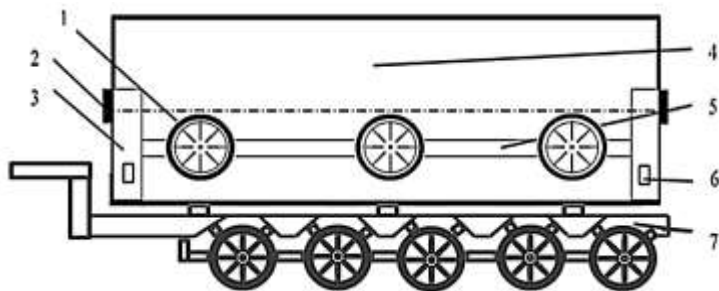
Однако, при осуществлении разгрузочных работ крупногабаритных цилиндрических грузов у всех, указанных выше методов, есть различные недостатки: отсутствие возможности разгрузочного устройства подстраиваться под размеры обширного ассортимента цилиндрических грузов, или необходимость привлечения дополнительной техники (оборудования) с дополнительным количеством персонала, или в некоторых случаях повышенная опасность непредсказуемого соскальзывания, обрыва троса, или высокие капиталовложения в конструкцию и так далее.

Предлагается рассмотреть усовершенствование процесса разгрузки крупногабаритных грузов цилиндрической формы с сокращения временных затрат, в том числе и в отношении буксировки груза к месту его временного хранения.

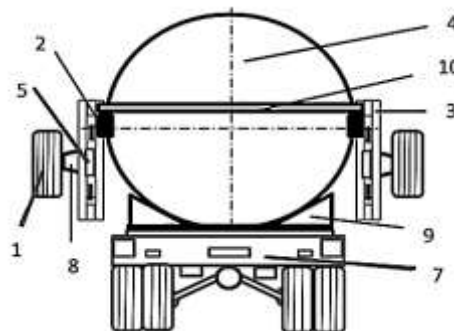
Предлагаемый разгрузочный Комплекс включает в себя конструкцию в виде жесткой рамы с попарно расположенными колёсами (всего 6 штук), которая крепится к грузу с боков (далее по тексту – Рама), и эстакаду, состоящую из двух рам.

На рисунках 1 и 2 представлено схематичное устройство Рама, где колёса продольной балки Рама (1), жёсткий крепёж Рама к грузу (2), устройство, содержащее в себе систему домкратов (3), сам груз к которому крепится Рама (4), продольная телескопическая балка (5),

панель управления системой домкратов (6), основная грузовая платформа (7), крепёж колеса к продольной телескопической балке (8), фиксатор груза на основной грузовой платформе (9), поперечная телескопическая балка (10).



*Рисунок 1 - Рама для транспортировки и разгрузки крупногабаритных цилиндрических грузов (вид сбоку)*



*Рисунок 2 - Рама для транспортировки и разгрузки крупногабаритных цилиндрических грузов (вид сзади)*

Рама предполагает возможность менять свои размеры: раздвигаться в длину на определённое расстояние, подобно тому, как это могут делать телескопические полуприцепы, а также раздвигаться в ширину, за счёт телескопической поперечной балки.

За счёт продольной балки, которая соединяет два конца Рамы, она способна укорачиваться и удлиняться для корректирования длины, что позволит осуществить безопасную разгрузку груза по нисходящим поверхностям-пандусам.

Алгоритм работы предлагаемого варианта разгрузочного Комплекса приведен ниже:

1) подвижной состав, прибывший на место разгрузки, подъезжает вплотную к двум рампам, имеющим угол наклона, и становится между ними;

2) рампы расположены друг от друга на таком расстоянии, чтобы колёса предлагаемой конструкции, расположенные на продольной балке рамы, могли свободно на них заехать;

3) основной платформенный крепёж на прицепе отсоединяется и груз свободно лежит на основной грузовой платформе подвижного состава;

4) после этого автомобиль начинает движение вперёд между рампами, а колёса на раме, прицепленной к грузу, начинают движение на пандусы.

Сначала, за счёт свободного хода продольной балки рамы, колёса рамы начинают заезжать вверх по рампе, балка принимает положение параллельное поверхности рампы, но при этом груз лежит на основной грузовой платформе также, как и лежал во время транспортировки, до тех пор, пока автомобиль не продвинулся достаточно далеко вперёд, чтобы тягеловозный полуприцеп стал выходить из - под груза;

5) в определённый момент, груз перестаёт заезжать на рампу и прекращает своё движение из-за заезда колёс рамы на достаточную максимально возможную высоту. В это время автомобиль продолжает своё движение вперед и когда он полностью выйдет из-под груза, груз самостоятельно (под силой тяжести) скатится по рампам вниз.

Весь процесс разгрузки схематично изображён на рисунке 3.

Эффективному заезду на эстакаду груза и его спуску способствует возможность регулировать уровень расположения балки в обоих концах Рамы по средствам подъёмной системы домкратов в устройствах, расположенных в разных концах Рамы, также эта система, позволит буксировать груз на колёсах, способных регулировать свой уровень высоты за счёт подвижной продольной балки, к месту временного хранения.

После прибытия подвижного состава с грузом в пункт разгрузки существует два различных варианта:

Первый вариант - транспортировка груза в место его хранения (это возможно сделать за счёт колёс на Раме, которые можно поднять, чтобы груз не касался земли, за счёт преду-

смотренной конструкции системы домкратов, после чего опустить груз на землю уже в месте хранения, за счёт вышеупомянутой системы домкратов, расположенной в устройствах по краям Рамы (далее ее можно отсоединить от груза и погрузить обратно на подвижной состав. Предлагаемая Рама отцепляется небольшими разгрузочными специальными средствами в то время, как груз находится в приподнятом состоянии).

Второй вариант - непосредственное использование груза грузоподъемным краном сразу для монтажа какой - либо конструкции. В данном случае, можно использовать только один грузоподъемный кран для разгрузки. Груз будет устойчив, не смотря на цилиндрическую форму, поскольку он расположен на Раме с колёсами.

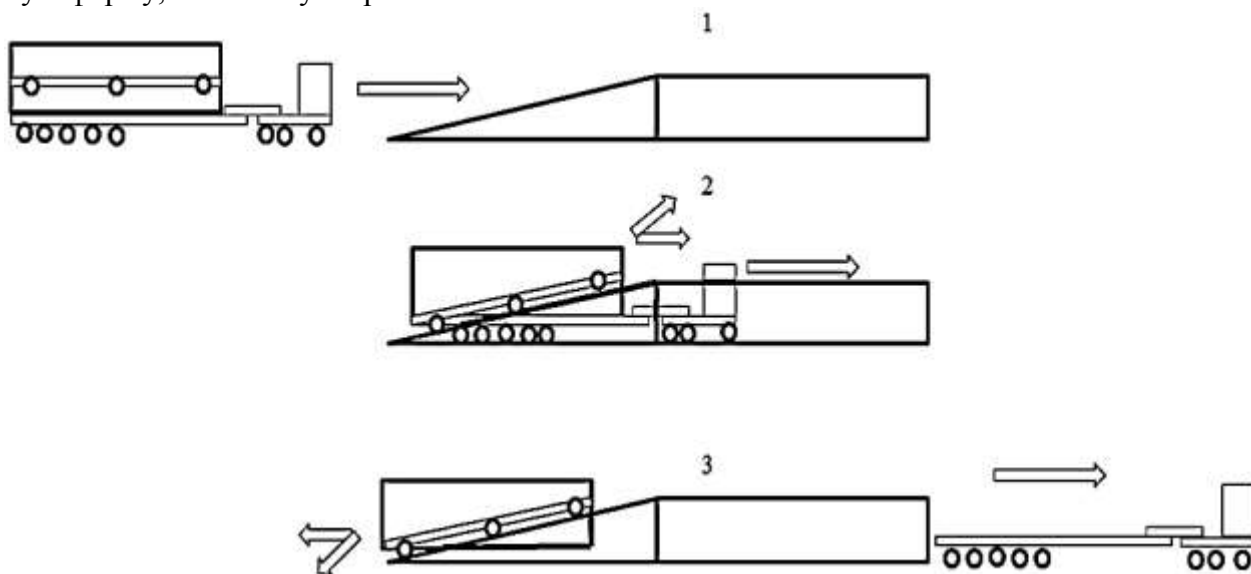


Рисунок 3 - Процесс разгрузки крупногабаритного цилиндрического груза с указанием его движения по мере разгрузки

### Расчёт

При проектировании Комплекса следует провести обязательный расчёт показателей, необходимых для успешной работы Комплекса разгрузки цилиндрических крупногабаритных грузов, некоторые из них перечислены ниже:

1. Минимальный угол наклона (С) платформы для разгрузки крупногабаритного цилиндрического груза при помощи предлагаемого устройства.

Из специализированной литературы [18] получена информация о том, что рампа (пандус) для разгрузки должна быть примерно одинаковой высоты с платформой автотранспортного средства, а длина пандуса равна длине грузового транспортного средства. При этом перепад высот между пониженной площадкой и уровнем дороги не должен превышать 10 %, иначе возникнут сложности со спуском/подъёмом.

$$C = \left(\frac{H}{L_1}\right) = \operatorname{tg} a, \quad (1)$$

где  $H$  - высота платформы, на которой располагается крупногабаритный цилиндрический груз;

$L_1$  - длина рампы (транспортной платформы)

перепад (при таком соотношении высоты и длины платформы) высот между пониженной площадкой и уровнем дороги.

2. Размеры площадки, необходимые для разгрузочных работ.

В соответствии с правилами проектирования размеры рассчитывают следующим образом: длина седельного тягача вместе с полуприцепом умножается на два и прибавляется еще два метра. Сбоку от кузова до ближайших стен должно оставаться не меньше полутора метров [19-21].

3. Общая ширина рампы для спуска крупногабаритного груза цилиндрической формы:

$$h=h_1+h_2, \quad (2)$$

где  $h_1$  - ширина груза

$h_2$  - ширина крепежного устройства с колёсами по бокам (ширина колеса с шиной; ширина крепежного устройства с двух сторон).

4. Прочность эстакады, предназначенной для разгрузки (необходимый запас прочности для принятия полностью загруженных транспортных средств).

Также необходимо отметить, что приёмные ramпы (пандусы) эстакады вначале конструкции между собой должны дополнительно фиксироваться, чтобы избежать смещения во время подъема на нее грузовой машины.

Отдельно стоящие опоры и эстакады следует проектировать из сборных железобетонных или стальных конструкций [18].

Для анализа работы с применением Комплекса также применимы расчеты различных показателей, в том числе общее время разгрузки (от момента подъезда груза к ramпе до начала перегрузки груза разгрузочным краном и освобождения ramпы для следующего груза):

$$T_0=t_1+\left(\frac{S}{V}\right)+t_2+t_3+t_4+t_5, \quad (3)$$

где  $t_1$  – время открепления крепежей, фиксирующих груз к основной грузовой платформе;

$S$  - расстояние, которое необходимо пройти седельному тягачу, чтобы полностью выехать из под груза (зависит от длины полуприцепа, груза и угла наклона ramпы);

$V$ - скорость проезда седельного тягача с грузом между двух ramп (зависит от погодных условий и профессионализма водителя);

$t_2$ - время затрачиваемое на крепёж троса крана к грузу находящемуся под углом на ramпе (стрела крана и трос должны быть над ramпой ещё до того, как седельный тягач выйдет из под груза, для того чтобы сократить общее время разгрузки);

$t_3$  – время открепления крепежей, фиксирующих ramу с колёсами к грузу;

$t_4$  – время поднятия груза краном на необходимую для перегрузки высоту (зависит от многих факторов, в том числе от технических характеристик крана и погодных условий);

$t_5$  – время затрачиваемое на буксировку ramы к седельному тягачу для дальнейшей её погрузки и отправки в место погрузки следующего крупногабаритного цилиндрического груза.

Факторы, влияющие на общее время разгрузки груза, не являются постоянными, их можно корректировать, тем самым, оптимизируя процесс и улучшая итоговые показатели.

Рассчитав общее время разгрузки, аналогично можно рассчитывать показатели скорости разгрузки и так далее.

### **Результаты и обсуждение**

Предлагаемый комплекс для разгрузки крупногабаритных цилиндрических грузов, вводит следующие нововведения в процесс разгрузки:

- при транспортировке крупногабаритного цилиндрического груза используется устройство, представляющее собой Ramу (включает в себя продольную и поперечную телескопические балки, шесть колёс, крепящимися попарно к двум продольным балкам и четырьмя устройствами, находящимися на каждом углу, которые содержат в себе систему домкратов, а также панель управления системой домкратов), крепящуюся с помощью зажимов к грузу на этапе погрузки;

- разгрузка груза происходит по нисходящей поверхности на колёсах, прикрепленных к Ramе под силой тяжести и собственным весом груза после того, как транспортное средство выехало из-под груза между ramпами;

- после разгрузки груза, Ramу отцепляют и грузят на подвижной состав, чтобы за тем вновь использовать.

- разгрузка транспортного средства происходит без приложения физических усилий со стороны персонала, безопасно с сокращением временных затрат на разгрузочный процесс.

Применить на практике предлагаемый комплекс, возможно в различных отраслях промышленности: нефтегазовой, химической, энергетической, транспортной, строительной. Конкретным примером в Ростовской области может быть строительство ветропарков (например, такого ветропарка как ветропарк Красносулинского района Ростовской области). При строительстве такого рода объектов необходима разгрузка таких крупногабаритных цилиндрических грузов как секции башен ветрогенераторов. Сегодня при разгрузке колон ветрогенераторов используется два подъёмных крана, что занимает значительное время разгрузки груза и стоимостные показатели процесса. При использовании предлагаемого комплекса можно оптимизировать указанные издержки, максимально автоматизируя этап разгрузки.

### **Выводы**

Таким образом, в рамках данного подхода к разгрузке крупногабаритных цилиндрических грузов можно сократить время простоя подвижного состава, время разгрузки крупногабаритного груза, а также при необходимости снизить стоимость разгрузки за счёт меньшего количества привлекаемого персонала и разгрузочной техники.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пятьдесят крупнейших инвестпроектов в России до 2025 года [Электронный ресурс] / Индустриальные парки и технопарки России: Электронный портал. Раздел «Новости» - 2022. URL: <https://russiaindustrialpark.ru/news/50-krupneyshih-investproektov-v-rossii-do-2025-goda>.
2. Инвестиционные проекты (цифровая платформа) [Электронный ресурс]. 2024. URL: [https://investprojects.info/project-base?utm\\_source=yandex&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=67812880&utm\\_term](https://investprojects.info/project-base?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=67812880&utm_term)
3. Кузнецов С.М., Круглов А.И., Легостаева О.А., Кузнецова К.С. Моделирование организационно-технологических решений в строительстве : учебное пособие. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 95 с.
4. Морозова В.С. Транспортные и погрузочно-разгрузочные средства: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. 96 с.
5. Ширяев С.А., Гудков В.А., Миротин Л.Б. Транспортные и погрузочно-разгрузочные средства: учебник для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 848 с.
6. Гуськов А.А., Молодцов В.А., Горюшинский В.С. Транспортные и погрузочно-разгрузочные средства: Учебное пособие. Тамбов: ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017.
7. Виды погрузки и разгрузки грузовых автомобилей: официальный сайт транспортно – экспедиционной компании «ТрансАвтоЦистерна» [Электронный ресурс]. Раздел «Статьи». URL: [https://трансавтоцистерна.рф/press-centr/stati/poleznay\\_informaciy/pogruzki\\_razgruzka\\_gruzovih\\_avto/](https://трансавтоцистерна.рф/press-centr/stati/poleznay_informaciy/pogruzki_razgruzka_gruzovih_avto/).
8. Попов В.И. Опоры эстакад, транспортных пересечений и развязок: монография. Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. 120 с.
9. Степанов А.Л. Перегрузочное оборудование портов и транспортных терминалов: Учеб. для вузов. Спб.: Политехника, 2013. 427 с.
10. Гааб А.В. Способ кантования крупногабаритных цилиндрических грузов [Электронный ресурс]. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. RU 2 742 665 C1, МПК B66C 1/26 (2006.01) – URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=000274](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=000274).
11. Коня В.А., Бутннов Ю.П., Никитин С.Г. Подкатная тележка для транспортировки крупногабаритных грузов. [Электронный ресурс]. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. SU 1 527 082 A1, МПК B62D 63/08 (2000.01). URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0001527082&TypeFile=html](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0001527082&TypeFile=html).
12. Плехов Г.Г. Способ погрузки и перевозки крупногабаритных грузов, преимущественно маломерных судов, и транспортное средство для его осуществления [Электронный ресурс]. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. RU 2 250 166 C2, МПК B60P 3/00 (2000.01), B65G 67/60 (2000.01). URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002250166&](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002250166&).
13. Способ погрузки грузов транспортных средств: пат. 2710910 РФ [Электронный ресурс] / Багич Г.Л.; 2020. URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002710910&Typ](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002710910&Typ).
14. Толмачев В.И., Петрищев В.В., Южиков Г.Г., Аветиков Ю.М. Эстакада для погрузки-выгрузки моногрузов и колесной техники при транспортировке в летательных аппаратах тяжелого транспортного самолета АН-124-100 [Электронный ресурс]. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. RU 2003 124 737 А, МПК В 64 F 1/32, В 65 G 67/02, 69/22. URL: <https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/r>.
15. Толмачев В.И. и др. , Устройство для загрузки-выгрузки и транспортировки крупногабаритных изделий и грузов большой удельной массы на летательном аппарате, преимущественно тяжелом транспортном самолете ан-124-100 [Электронный ресурс]. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам



и товарным знаком. RU(11)2 171 768(13)C1, МПК В65G 67/00(2006.01),B64D 9/00(2006.01). URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002171768&TypeFile=html](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002171768&TypeFile=html).

16. Саморазгрузочная платформа: пат. 205292 U1 RU [Электронный ресурс] / Семенов С.О.; 2021. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46311700>.

17. Зуев С.М., Лавриков А.А., Малеев Р.А., Шматков Ю.М. Технология транспортировки крупногабаритных неделимых узлов для промышленных объектов // Известия МГТУ МАМИ. М.: Московский политехнический университет. №3(41). 2019. С. 20-28.

18. СП 43.13330.2012. Свод правил. Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85; утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 620; ред. от 15.12.2021. Официальное издание. М.: Минрегион России. 2011.

19. Об утверждении Правил по охране труда на автомобильном транспорте: Приказ Минтруда России от 09.12.2020 №871н; Зарегистрировано в Минюсте России 18.12.2020 N 61561 [Электронный ресурс]. Официальный интернет-портал правовой информации. 2020. URL: <http://pravo.gov.ru>.

20. Правила охраны труда при эксплуатации и техническом обслуживании автомобилей и других транспортных средств на пневмоходу в энергетике. РД 153-34.0-03.420-2002»; утв. Минэнерго РФ 15.03.2002, РАО «ЕЭС России» 19.02.2002.

21. ГОСТ 12.3.009-76. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности (с Изменением №1): Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2008.

#### **Копылов Максим Алексеевич**

Донской государственный технический университет

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

Аспирант

E-mail: dorothej@mail.ru

---

M.A. KOPYLOV

## **COMPLEX FOR UNLOADING OPERATIONS RELATED TO BULKY CYLINDRICAL LOADS**

***Abstract.** The applied and proposed methods of unloading a motor vehicle during the transportation of bulky goods are considered. In order to improve the process of unloading bulky cylindrical cargoes, an unloading complex is proposed for consideration, which reduces time and financial costs at this stage of transportation, as well as reducing the share of human physical labor in the process along with increasing its safety.*

***Keywords:** unloading of a vehicle, bulky cargo, optimization of the unloading process*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Pyat`desyat krupneyshikh investproektov v Rossii do 2025 goda [Elektronnyy resurs] / Industrial`nye parki i tekhnoparki Rossii: Elektronnyy portal. Razdel «Novosti» - 2022. URL: <https://russiaindustrialpark.ru/news/50-krupneyshih-investproektov-v-rossii-do-2025-goda>.

2. Investitsionnye proekty (tsifrovaya platforma) [Elektronnyy resurs]. 2024. URL: [https://investprojects.info/project-baseutm\\_source=yandex&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=67812880&utm\\_term](https://investprojects.info/project-baseutm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=67812880&utm_term)

3. Kuznetsov S.M., Kruglov A.I., Legostaeva O.A., Kuznetsova K.S. Modelirovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy v stroitel`stve : uchebnoe posobie. M.-Berlin: Direkt-Media, 2016. 95 s.

4. Morozova V.S. Transportnye i pogruzochno-razgruzochnye sredstva: uchebnoe posobie. Chelyabinsk: Izdatel`skiy tsentr YUURGU, 2010. 96 s.

5. Shiryaev S.A., Gudkov V.A., Mirotin L.B. Transportnye i pogruzochno-razgruzochnye sredstva: uchebnik dlya vuzov. M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2007. 848 s.

6. Gus`kov A.A., Molodtsov V.A., Goryushinskiy V.S. Transportnye i pogruzochno-razgruzochnye sredstva: Uchebnoe posobie. Tambov: FGBOU VO «TGTU», 2017.

7. Vidy pogruzki i razgruzki gruzovykh avtomobiley: ofitsial`nyy sayt transportno - ekspeditsionnoy kompanii "TransAvtoTsistema" [Elektronnyy resurs]. Razdel «Stat`i». URL: [https://transavtotistema.rf/press-centr/stati/poleznay\\_informaciy/pogruzki\\_razgruzka\\_gruzovih\\_avto/](https://transavtotistema.rf/press-centr/stati/poleznay_informaciy/pogruzki_razgruzka_gruzovih_avto/).

8. Popov V.I. Oporы estakad, transportnykh peresecheniy i razvyazok: monografiya. Cheboksary: TSNS «Interaktiv plus», 2016. 120 s.

9. Stepanov A.L. Peregruzochnoe oborudovanie portov i transportnykh terminalov: Ucheb. dlya vuzov. Spb.:

Politehnika, 2013. 427 s.

10. Gaab A.V. Sposob kantovaniya krupnogabaritnykh tsilindricheskikh gruzov [Elektronnyy resurs]. Federal'naya sluzhba po intellektual'noy sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam. RU 2 742 665 C1, MPK B66C 1/26 (2006.01) - URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=000274](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=000274).

11. Koneya V.A., Butnov YU.P., Nikitin S.G. Podkatnaya telezhka dlya transportirovki krupnogabaritnykh gruzov. [Elektronnyy resurs]. Federal'naya sluzhba po intellektual'noy sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam. SU 1 527 082 A1, MPK B62D 63/08 (2000.01). URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0001527082&TypeFile=html](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0001527082&TypeFile=html).

12. Plekhov G.G. Sposob pogruzki i perevozki krupnogabaritnykh gruzov, preimushchestvenno malomernykh sudov, i transportnoe sredstvo dlya ego osushchestvleniya [Elektronnyy resurs]. Federal'naya sluzhba po intellektual'noy sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam. RU 2 250 166 C2, MPK B60P 3/00 (2000.01), B65G 67/60 (2000.01). URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002250166&](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002250166&).

13. Sposob pogruzki gruzov transportnykh sredstv: pat. 2710910 RF [Elektronnyy resurs] / Bagich G.L.; 2020. URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002710910&Typ](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002710910&Typ).

14. Tolmachev V.I., Petrishchev V.V., YUzhikov G.G., Avetikov YU.M. Estakada dlya pogruzkivygruzki mono-gruzov i kolesnoy tekhniki pri transportirovke v letatel'nykh apparatakh tyazhelogo transportnogo samoleta AN-124-100 [Elektronnyy resurs]. Federal'naya sluzhba po intellektual'noy sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam. RU 2003 124 737 A, MPK B 64 F 1/32, B 65 G 67/02, 69/22. URL: <https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/r>.

15. Tolmachev V.I. i dr. , Ustroystvo dlya zagruzki-vygruzki i transportirovki krupnogabaritnykh izdeliy i gruzov bol'shoy udel'noy massy na letatel'nom apparate, preimushchestvenno tyazhelom transportnom samolete an-124-100 [Elektronnyy resurs]. Federal'naya sluzhba po intellektual'noy sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam. RU(11)2 171 768(13)C1, MPK B65G 67/00(2006.01), B64D 9/00(2006.01). URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002171768&TypeFile=html](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002171768&TypeFile=html) .

16. Samorazgruzochnaya platforma: pat. 205292 U1 RU [Elektronnyy resurs] / Semenov S.O.; 2021. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46311700>.

17. Zuev S.M., Lavrikov A.A., Maleev R.A., SHmatkov YU.M. Tekhnologiya transportirovki krupnogabaritnykh nedelimykh uzlov dlya promyshlennykh ob"ektov // Izvestiya MGTU MAMI. M.: Moskovskiy politekhnicheskiy universitet. №3(41). 2019. S. 20-28.

18. SP 43.13330.2012. Svod pravil. Sooruzheniya promyshlennykh predpriyatiy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 2.09.03-85; utv. Prikazom Minregiona Rossii ot 29.12.2011 N 620; red. ot 15.12.2021. Ofitsial'noe izdanie. M.: Minregion Rossii. 2011.

19. Ob utverzhenii Pravil po okhrane truda na avtomobil'nom transporte: Prikaz Mintruda Rossii ot 09.12.2020 №871n; Zaregistrovano v Minyuste Rossii 18.12.2020 N 61561 [Elektronnyy resurs]. Ofitsial'nyy internet-portal pravovoy informatsii. 2020. URL: <http://pravo.gov.ru>.

20. Pravila okhrany truda pri ekspluatatsii i tekhnicheskoy obsluzhivaniy avtomobiley i drugikh transportnykh sredstv na pnevmokhodu v energetike. RD 153-34.0-03.420-2002"; utv. Minenergo RF 15.03.2002, RAO «EES Rossii» 19.02.2002.

21. GOST 12.3.009-76. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Raboty pogruzochno-razgruzochnye. Obshchie trebovaniya bezopasnosti (s Izmeneniem №1): Ofitsial'noe izdanie. M.: Standartinform, 2008.

**Kopylov Maxim Alekseevich**

Don State Technical University

Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don, st. Gagarina, 1

Graduate student

Email: dorothej@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13.011.3

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-28-37

И.А. ГАЙСИН А.В. МАРТЫНЕНКО

## ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ БЕСПЕРЕСАДОЧНОСТИ

***Аннотация.** Качество обслуживания населения городским общественным транспортом играет ключевую роль в развитии социальной сферы и экономики города. Для оценки качества работы общественного транспорта разработаны различные методы. В частности, одним из основных показателей является коэффициент пересадочности, показывающий, насколько маршрутная сеть обеспечивает беспересадочность поездок. Этот показатель характеризует маршрутную сеть в целом, не давая при этом представление о том, какое влияние на беспересадочность оказывают отдельные остановочные пункты и маршруты.*

*В данной статье предлагается подход к определению локального показателя для характеристики отдельных элементов маршрутной сети общественного транспорта с точки зрения возможности совершения беспересадочной поездки. На основе предложенного показателя в работе выполнен анализ транспортной доступности для многоквартирных домов г. Екатеринбурга. Среди прочего было установлено, что возможности для беспересадочных поездок распределены по районам города крайне неравномерно и не зависят от их удаленности от центра города.*

***Ключевые слова:** транспортная доступность, общественный транспорт, беспересадочность, показатели транспортной доступности, инструменты и методы оценки транспортной доступности, маршрутная сеть, стандарт транспортного обслуживания*

### **Введение**

Доступность общественного транспорта (ОТ) играет ключевую роль в развитии экономики города, экологическом благополучии, социальной сфере и, как следствие, повышении уровня качества жизни горожан. Точная и объективная информация об уровне транспортной доступности на территории города необходима для принятия эффективных управленческих решений. Для оценки уровня транспортной доступности разрабатываются различные методы, у каждого из которых есть свои преимущества и недостатки.

В научной литературе под транспортной доступностью обычно понимают полные затраты времени на передвижение, совершаемое с какой-то целью (передвижение к месту работы, передвижение с культурно-бытовыми целям, передвижение к рекреациям и т. д.) [1]. Анализ отечественных трудов по транспортной доступности показывает, что данный термин рассматривается, главным образом, через призму существующей нормативно правовой базы и стандартов, регулирующих работу общественного транспорта [2]. При этом, в последнее время наблюдается переход от «жесткого» технического и экономико-географического понимания транспортной доступности к использованию «мягкого» подхода, основанного на использовании потребительских, социально-ориентированных индикаторов [3]. Такой переход во многом связан с развитием геоинформационных технологий и систем сбора навигационных данных, которые дают возможность получать точную информацию о движении транспорта и перемещениях пассажиров и на их основе рассчитывать мягкие индикаторы транспортной доступности [4].

Методы количественной оценки транспортной доступности зависят от используемого подхода к определению данного понятия [5]. В отечественной научной литературе существует следующая классификация: топологические методы, методы оценки пространственного разграничения, методы изолиний, методы потенциалов, методы инверсионных балансов и пространственно-временные методы, инфраструктурные, и личностные методы оценки [6].

Подробный обзор различных подходов к оценке транспортной доступности в зарубежной и отечественной литературе приводится в работе [4]. Отмечаются значительные различия между содержанием этого понятия и его количественной оценкой. В большинстве исследований используются упрощенные модели территориальной доступности, такие как изохроны, псевдогравитационные агрегаты экономического равновесия и функции полезности. Применение интегральной транспортной доступности также можно найти в научной литературе, однако системные модели ее использования встречаются намного реже.

Разработке методов оценки транспортной доступности также посвящена обширная зарубежная литература [7-11]. Среди этих работ необходимо отметить статью [12], в которой проводится сравнительный анализ двух наиболее распространенных методов - Structural Accessibility Layer (SAL) и Public Transport and Walking Accessibility Index (PTWAI).

Метод SAL обычно используется при оценке доступности общественного транспорта для пешеходов и велосипедистов. Он позволяет оценить уровень доступности системы общественного транспорта для людей, в зависимости от их местоположения, времени и других факторов. Метод SAL позволяет выявить проблемные зоны, где доступность общественного транспорта недостаточна, и предложить решения для улучшения ситуации.

Метод PTWAI, в свою очередь, используется для оценки проходимости и привлекательности пешеходных зон, которые связаны с остановками общественного транспорта. Он учитывает различные факторы, такие как ориентация, безопасность и удобство для пешеходов, чтобы определить, насколько комфортно пользоваться общественным транспортом.

Большинство из предлагаемых в научных исследованиях показателей транспортной доступности не используются в нормативно-правовых документах, регламентирующих различные аспекты оказания транспортных услуг по перевозке пассажиров. В частности, социальный стандарт транспортного обслуживания населения [13] содержит только один прямой показатель территориальной транспортной доступности: предельное расстояние кратчайшего пешеходного пути от границ участков объектов до ОП. Например, для многоквартирного дома (МД) такое расстояние не должно превышать 500м. Такой показатель фактически измеряет доступность маршрутной сети для пассажира, но он ничего не говорит о доступности перемещений по самой сети, которая должна учитывать затраты времени на ожидание транспортного средства (ТС), на поездку в ТС и на пересадки. При этом в [13] есть требования по предельному количеству пересадок, осуществляемых пассажиром для перемещения в любую точку города (не более двух в городах с населением свыше 500 тыс.чел. и не более одной в остальных), которое косвенно связано с доступностью перемещений по сети. Все остальные показатели доступности в [13] касаются либо стоимости проезда, либо доступности ОП и ТС для маломобильных групп населения.

Транспортная доступность, рассматриваемая как полные затраты времени на передвижение, зависит от многих факторов: размеры и геометрическая форма города, начертание маршрутной сети, расписание движения по маршрутам, количественные и качественные характеристики подвижного состава и т.п. Расстояние до ОП и количество пересадок, используемые в [13], опираются только на информацию о маршрутной сети и не используют какие-либо данные о движении ТС или перемещениях пассажиров. Фактически эти показатели характеризуют (частично) транспортную доступность именно маршрутной сети.

Оценке расстояний до ОП для разных объектов (прежде всего МД) посвящено немало работ, в которых обсуждаются различные методологические и технические аспекты расчета этой величины и предлагаются методики использования конкретных программных продуктов. В частности, в статье [14] для разработки методики определения территориальной (пешеходной) доступности остановочных пунктов (ОП) крупного города применяются такие инструменты, как конструктор карт Яндекс, табличный редактор Excel и геоинформационная система QGIS. В аналогичном исследовании [15] авторы применяют геоинформационную базу данных NextGIS и используют программу QGIS. Такой же инструментарий используется и в [16], причём расчёт основывается на круговых буферных зонах разных радиусов.

Что касается характеристик, связанных с количеством пересадок, то при наличии большого количества работ, посвященных интегральному показателю – коэффициенту пересадочности (см, например, [17], [18] и цитируемую там литературу), исследования по каким-либо локальным показателям, характеризующим отдельные точки отправления (прибытия) пассажиров, не проводились.

В данной работе предлагается подход к определению локального показателя для характеристики транспортной доступности объектов с точки зрения возможности совершения беспересадочной поездки. Так же как в [13], предлагаемый показатель будет использовать только информацию о маршрутной сети без привлечения каких-либо данных о движении ТС и перемещениях пассажиров. Апробация предложенного показателя будет выполнена на примере МД г. Екатеринбурга.

#### **Материал и методы**

В качестве исходных данных для настоящего исследования использовалась информация о маршрутной сети города Екатеринбурга (электронный ресурс информирования пассажиров о движении общественного транспорта [19]) и данные жилищного фонда, содержащиеся сведениями о МД и управляющих организациях (Фонд развития территорий [20]).

Маршрутная сеть общественного транспорта Екатеринбурга состоит из 125 маршрутов: 86 автобусных; 15 троллейбусных и 24 трамвайных. Данные по каждому маршруту содержат информацию о трассе маршрута, которая представляет собой последовательность вершин ломаной с геокоординатами в системе координат WGS84, а также номер маршрута, название и вид транспорта. Кроме того, по каждому маршруту есть данные по всем остановочным пунктам с их геокоординатами и названиями. Каждый маршрут имеет минимум два варианта, представляющих собой прямое и обратное направления. Однако, у многих маршрутов количество вариантов больше двух. Это различные дополняющие, кольцевые и т.п. варианты. Так на рисунке 1 представлена визуализация 24 автобусного маршрута, иллюстрирующий все существующие варианты прохождения данного маршрута.



**Рисунок 1 - Визуализация вариантов 24-го автобусного маршрута**

Общее представление о маршрутной сети общественного транспорта Екатеринбурга дают показатели, представленные в таблице 1.

**Таблица 1 - Основные характеристики маршрутов и остановок (вариант А)**

Вид транспорта	Протяженность маршрутов, м			Количество ОП на маршрутах		
	Средняя	Максимальная	Минимальная	Среднее	Максимальное	Минимальное
Автобус	10030	34539	6161	29	52	8
Троллейбус	5197	18313	1920	20	37	5
Трамвай	6605	21028	4245	26	38	9

База данных жилищного фонда, содержит в себе данные о 8198 МД города Екатерин-



бурга. Для каждого дома даны адрес, геокоординаты, год постройки, общая площадь и количество этажей. Визуализация МД с учетом их этажности представлена на рисунке 2.

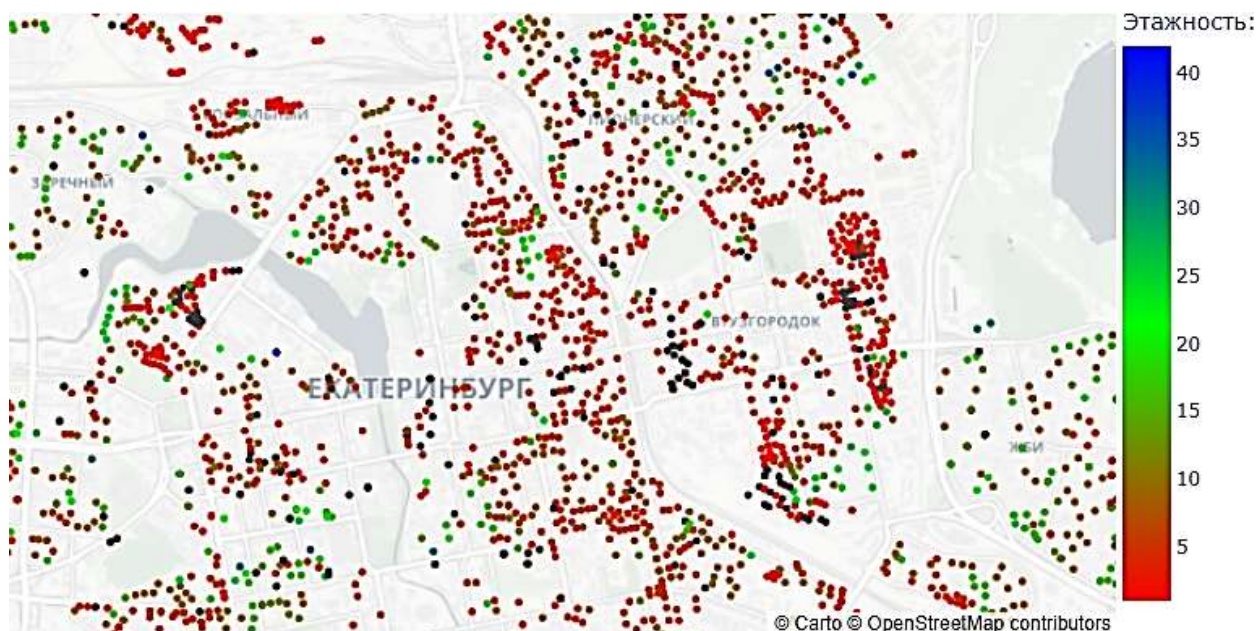


Рисунок 2 - МД г. Екатеринбурга с учетом их этажности

### Теория

Как уже было сказано выше, цель данной работы – предложить локальный показатель, характеризующий транспортную доступность с точки зрения количества пересадок, которые необходимо совершить, чтобы добраться от характеризуемого объекта до любой точки города. Для определения подобного показателя можно использовать разные подходы. Например, можно взять максимальное количество пересадок, которое надо осуществить пассажиру, чтобы добраться от ближайшего к данному объекту ОП до любой другой точки города. Такой показатель будет удобно использовать для проверки выполнения требования о предельном количестве пересадок из [13], но в остальном он будет малоинформативным (показатель будет иметь слишком мало возможных значений, чтобы на его основе сравнивать разные объекты).

Другой подход заключается в том, чтобы для каждого объекта оценить количество ОП, до которых можно добраться, совершив не более заданного количества пересадок. В этом случае объект будет характеризоваться набором показателей, соответствующих разным заданным количествам пересадок. При этом особый интерес представляют поездки с нулевым количеством пересадок (беспересадочные поездки). Количество ОП, до которых можно добраться от данного объекта без пересадок представляет собой достаточно информативный показатель транспортной доступности с точки зрения удобства перемещения по маршрутной сети. Поэтому, в качестве характеристики транспортной доступности будем использовать удельное количество таких ОП. Далее этот показатель будем называть *показателем беспересадочной доступности (ПБД)*.

Чтобы вычислить ПБД конкретного объекта (например, МД) необходимо определить ближайший к нему ОП и рассмотреть множество всех проходящих через него вариантов маршрутов. Обозначим такое множество через  $R$ , а множество всех ОП варианта маршрута  $r \in R$  обозначим через  $S(r)$ . Тогда показатель ПБД будет вычисляться по формуле:

$$\text{ПБД} = \frac{1}{N} |\cup_{r \in R} S(r)|, \quad (1)$$

где  $|A|$  – количество элементов в множестве  $A$ ;

$N$  – количество ОП в городе.

Чтобы по формуле (1) рассчитать ПБД для каждого МД, необходимо определить ближайший к нему ОП. Это, в свою очередь, можно сделать, оценив расстояния от МД до раз-



ных ОП. Как уже отмечалось выше, для расчёта таких расстояний были разработаны методики с использованием различных геоинформационных систем [14-16]. Например, в [16] для этого предлагается применять стандартный инструмент QGIS, позволяющий получить векторный слой буферных зон ОП по точечному слою ОП и полигональному слою контуров жилых домов. С помощью стандартных инструментов QGIS был получен векторный слой буферных зон ОП. Использование буферных зон означает, что расстояние между домом и ОП измеряется по прямой линии без учета УДС и пешеходных маршрутов. Чтобы учесть непрямолинейность пешеходного маршрута, авторы используют корректирующий коэффициент 1,2 (чтобы выполнялось требование из [13] расстояние по прямой линии должно быть  $500/1,2=417$  м).

В настоящей работе для определения ближайшего ОП также будут использоваться расстояния по прямой линии, но обработка будет производиться средствами языка программирования Python: для каждого МД будут вычисляться расстояния до всех ОП (с использованием стандартных функций библиотек `shapely` и `urgeoj`), из которых затем будет выбираться наименьшее значение. После определения ближайшего ОП можно непосредственно осуществить вычисления по формуле (1), используя инструменты Python.

### Результаты и обсуждение

Результаты расчёта расстояния по прямой от МД до ОП для г. Екатеринбурга, на основании которых для каждого МД определялся ближайший ОП, представлены на рисунках 3 и 4. В настоящей работе рассчитанные расстояния носят вспомогательный характер, тем не менее нужно отметить, что требования социального стандарта [13] по предельной удаленности ОП выполняются не для всех МД.

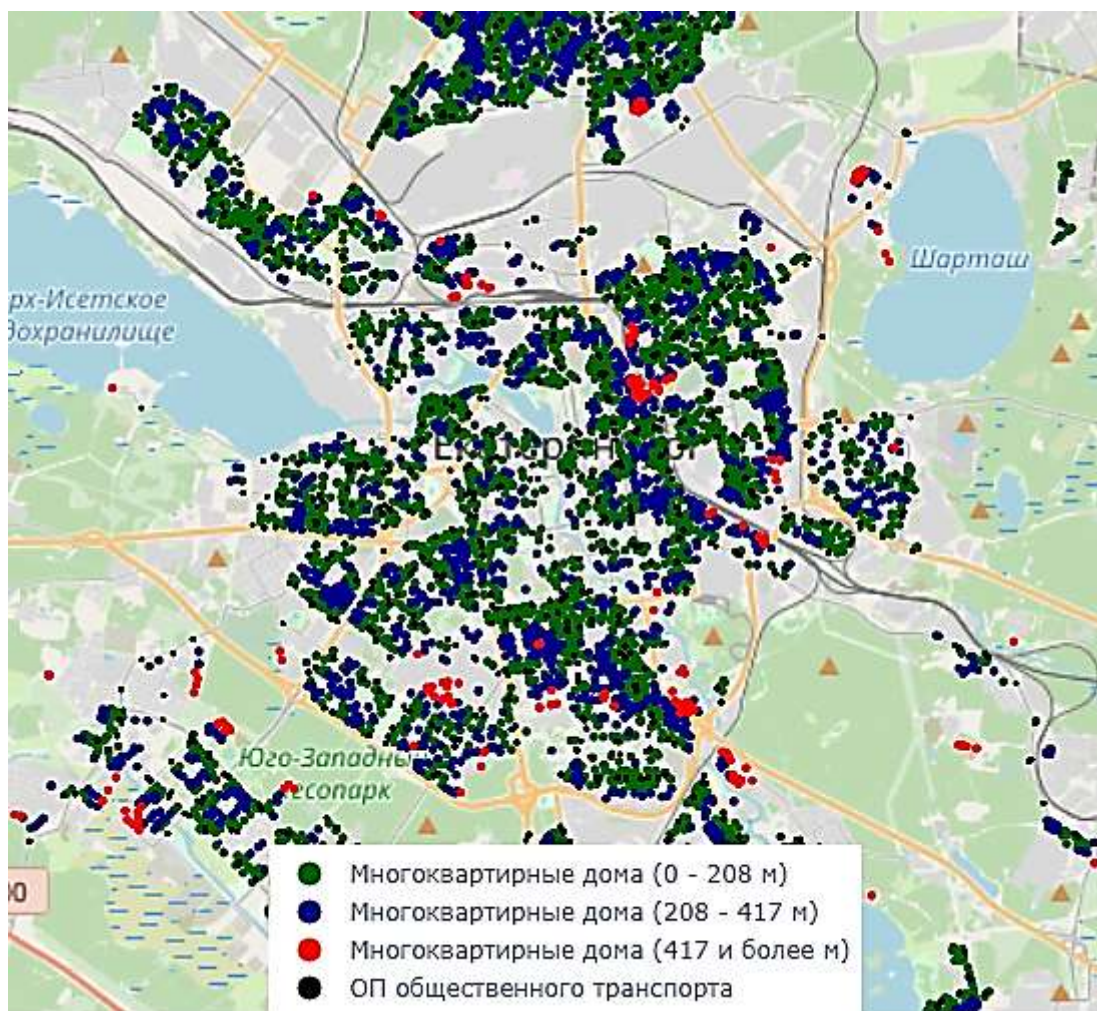


Рисунок 3 - Удаленность (по прямой) МД от ОП

Общее количество МД, которые удалены от ОП на расстояние более 417м по прямой составляет 401, т.е. требования [13] нарушаются для 4.89 % МД. При этом отметим, что значительная часть МД характеризуется повышенными показателями доступности: 4986 МД (примерно 60 %) находятся на расстоянии вдвое меньшем предельного.

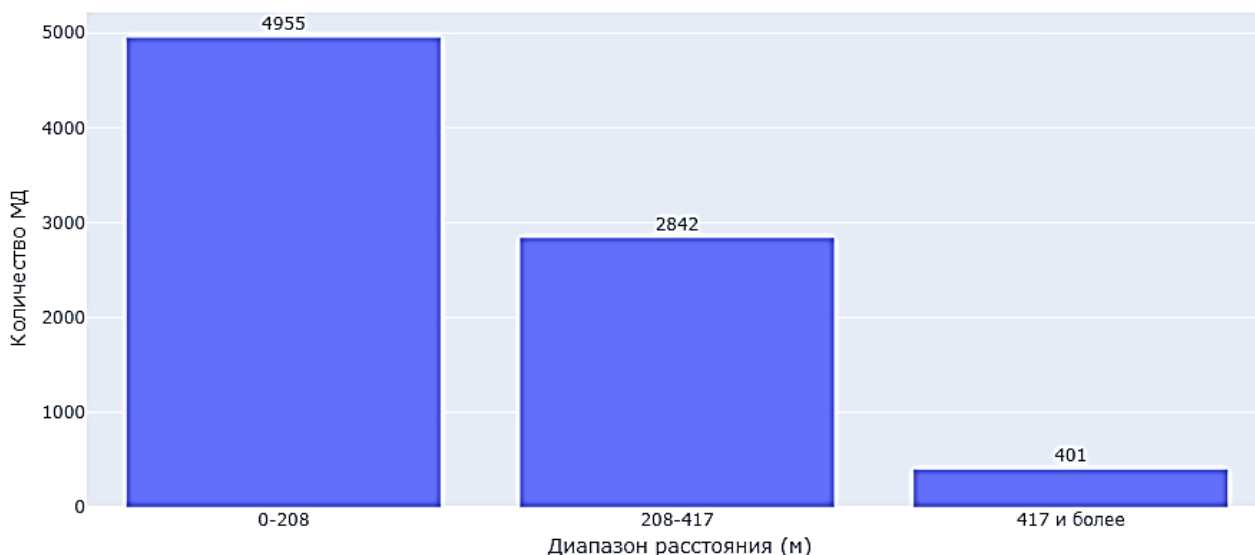


Рисунок 4 - Распределение удаленности многоквартирных домов от ОП

На рисунке 5 представлены только те МД, для которых требование [13] не соблюдается. Хорошо видно, что МД, удаленные более чем на 417 от ОП, распределены главным образом по окраинам районов города. В основном это дома расположенные на территории садов, микрорайонов, жилых комплексов, находящихся за чертой города, где, очевидно, существует недостаток транспортной инфраструктуры. Такие как Химмаш, Кольцово, Карасьеозёрский жилой комплекс и др. Что касается домов, которые находятся в черте города и не удовлетворяют рассматриваемому показателю, можно выделить: область администрации Орджоникидзевского района, южная часть микрорайона Звездочка, ряд домов в районе пересечения Бажова Шарташская, дома в районе ЖК Исеть парк, центральная часть Вторчермета и ряд других небольших скоплений или одиночных домов в различных районах города.

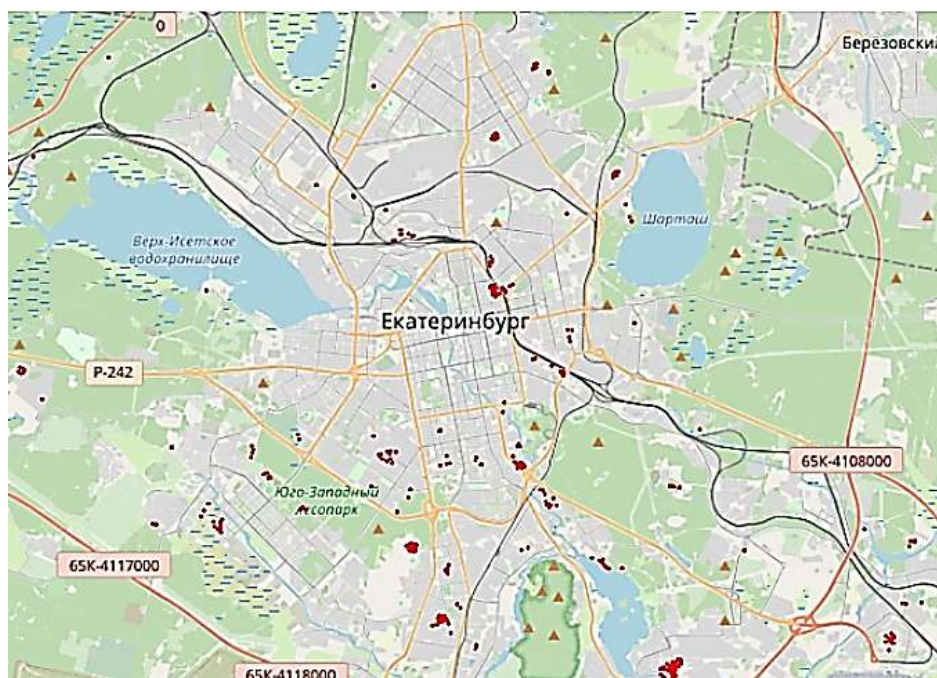


Рисунок 5 - Многоквартирные дома, удаленные более чем на 417м от ОП



Таким образом, картина распределения домов с показателем удаленности от ОТ более 417 м. характеризуется существенной неравномерностью. Такие МД можно найти как на окраине, так и в центральной части города, причем их большинство приходится на южную его часть.

Результаты расчета предлагаемого показателя ПБД представлены на рисунках 6 и 7. В частности, рисунок 6 показывает, что ПБД для г. Екатеринбург характеризуется высоким уровнем пространственной кластеризации (территориально близкие МД имеют схожие значения ПБД) при очень значительной пространственной неоднородности этого показателя (ПБД для разных кластеров отличается в разы). Причем пространственная неоднородность не связана с тем, находится ли территория в центре города или на периферии. Например, практически все МД Орджоникидзевского района (зона 1 на рисунке 6), расположенного в северной части города, имеют такие же показатели ПБД (не более 0,2) как и МД зоны 5, которая является частью центрального Ленинского района. В то же время, в находящимся на значительном удалении от центра города зонах 6 и 7 преобладают МД с ПБД от 0,1 до 0,35.

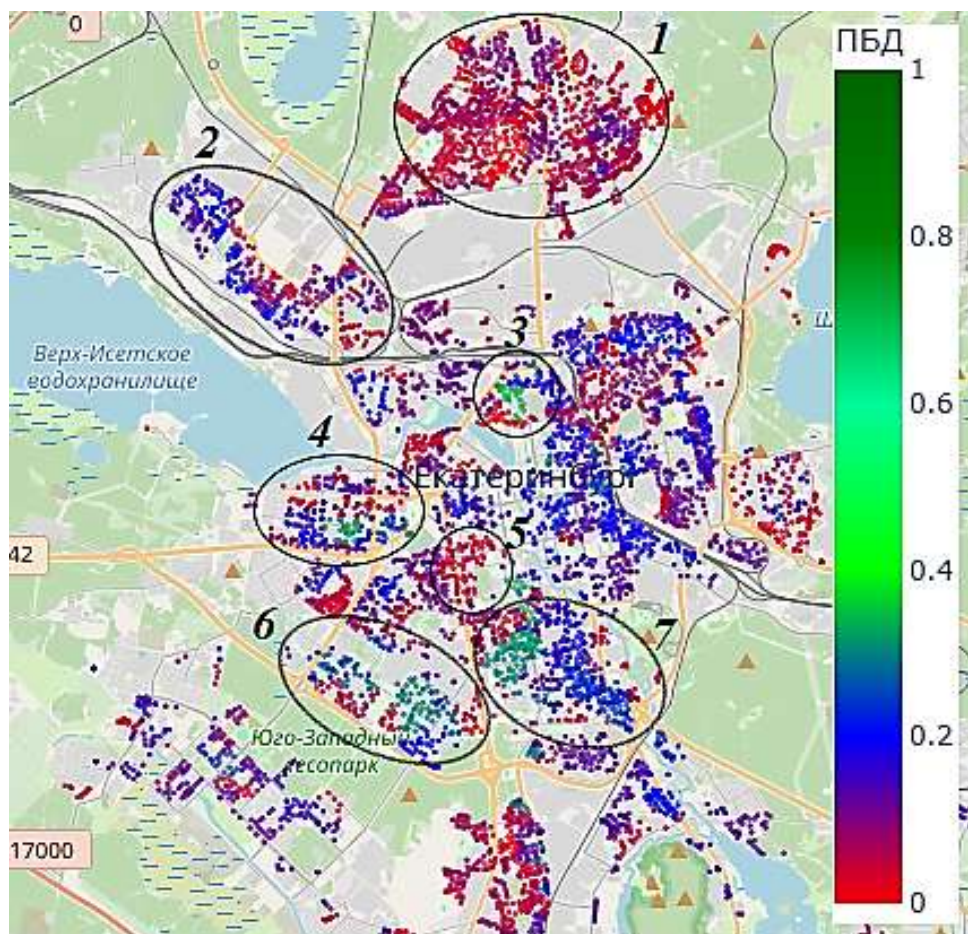


Рисунок 6 - Показатель беспересадочной доступности

МД с самым высоким значением ПБД (более 0,35) концентрируются в районе железнодорожного вокзала (зона 3). Такие высокие показатели обеспечиваются тем, что в этой зоне расположены 12 ОП, через которые проходит 24 маршрута всех видов транспорта (автобус, трамвай, троллейбус, метро).

Уровень кластеризации (размер и однородность кластера) также не очень сильно связан с удаленностью территории от центра города. Например, находящаяся на периферии зона 1, представляет собой один большой однородный кластер. В то же время зона 2, которая находится почти на таком же расстоянии от центра, имеет крайне неоднородную, фактически не кластеризируемую, структуру. И такой же не кластеризируемой является зона 3, которая расположена гораздо ближе к центру.

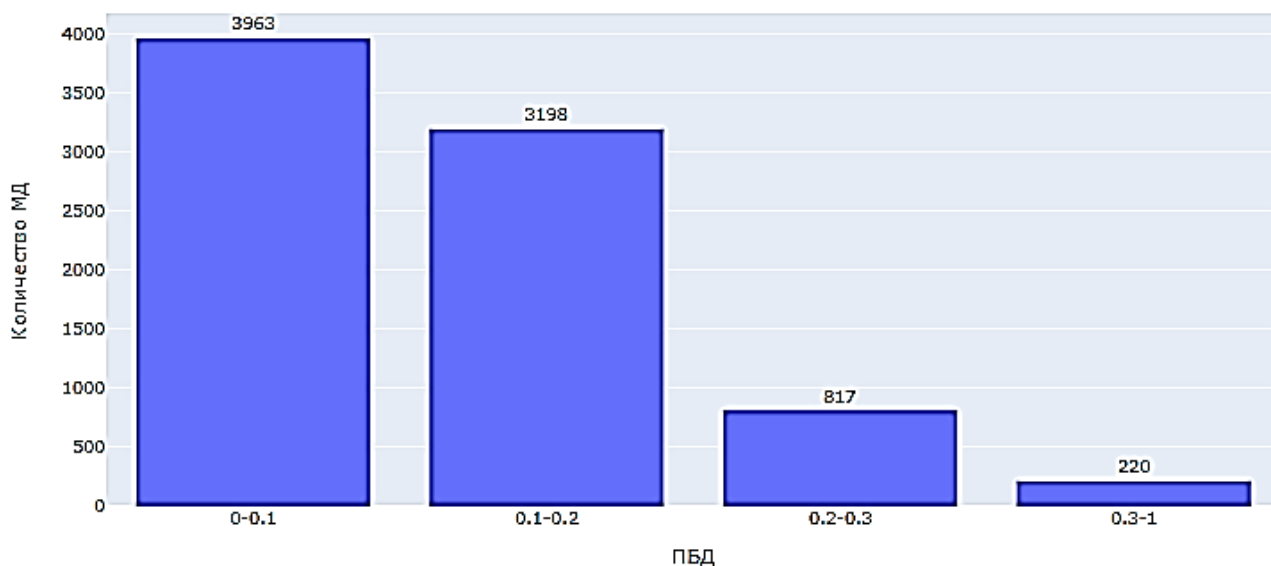


Рисунок 7 - Диаграмма соответствия ОП уровням ПБД

Отсутствие существенной связи между расположением МД и значениями ПБД однозначно свидетельствует о том, что ПБД не связан с размерами и геометрической формой города, а зависит только от начертания маршрутной сети. Это означает, что ПБД можно рассматривать как одну из характеристик качества маршрутной сети. В частности, для Екатеринбурга можно сделать вывод, что маршрутная сеть не обеспечивает равную доступность к беспересадочным поездкам для разных районов города. Также необходимо отметить, что для подавляющего большинства МД показатель ПБД является достаточно низким: более 48 % МД имеют значение ПБД меньше 0,2.

### Выводы

Предложенный показатель ПБД позволяет анализировать маршрутную сеть общественного транспорта и выявлять остановочные пункты (и соответствующие территории города), характеризующиеся сниженными возможностями для совершения беспересадочных поездок. Этот показатель дополняет и дает «пространственную развертку» хорошо известного коэффициента пересадочности.

Апробация ПБД для г. Екатеринбурга позволила выявить ряд важных особенностей маршрутной сети. В частности, был обнаружен высокий уровень пространственной кластеризации по этому показателю (территориально близкие МД имеют схожие значения ПБД) при очень значительной пространственной неоднородности этого показателя (ПБД для разных кластеров отличается в разы). При этом пространственная неоднородность не связана с удаленностью территории от центра города. Отсутствие связи между расположением МД и значениями ПБД указывает на то, что ПБД зависит только от структуры маршрутной сети, а не от размеров и формы города, т.е. ПБД является показателем качества маршрутной сети.

Таким образом, ПБД может быть использован в качестве точного инструмента анализа и оценки маршрутной сети изучаемого населенного пункта. Использование этого показателя может повысить эффективность управленческих решений в сфере общественного транспорта, что в свою очередь может повысить качество предоставляемых пассажирам транспортных услуг.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гребенников В.В., Мунин Д.А., Левашев А.Г., Михайлов А.Ю. Виды транспортной доступности // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2012. №1(2).
2. Муртузалиева Т.В., Лукина А.В., Ивашкова Н.И., Тимохина Г.С., Широценская И.П. Подходы к оценке транспортной доступности в мегаполисах: опыт применения технологии геомаркетинга // Российский экономический журнал. 2021. №5. С. 42–61.

3. Преловская Е.С., Иванченко Е.С., Левашев А.Г. К вопросу о транспортной доступности // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2013. №1(4).
4. Тиньков С.А. Подходы к оценке транспортной доступности точек притяжения в мегаполисе // ЭПП. 2021. №2.
5. Дубовик В.О. Методы оценки транспортной доступности территории // Региональные исследования. 2013. №4(42). С. 11-18. EDN RUDVDF.
6. Малащук П.А. Зарубежный опыт оценки транспортной доступности // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера - 2018: Сборник статей Шестой Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием): в 3 частях. Ч. II. Сыктывкар: ООО "Коммунальная типография", 2018. С. 220-224. EDN YTWTTT.
7. Coppola Pierluigi, Aveta Carmine, Stangherlin Piera, Carbone Armando. Assessing transport policies for tourist mobility based on accessibility indicators // European Transport Research Review. 2020. doi: 10.1186/s12544-020-00444-4.
8. Saif Muhammad Atiullah, Maghrour Zefreh Mohammad, Torok Adam. Public Transport Accessibility: A Literature Review // Periodica Polytechnica Transportation Engineering. 2018. №3. 10.3311/PPtr.12072.
9. Lohvinenko Valeriia, Rossolov Oleksandr. Evaluation of transport accessibility of the public transport network on the basis of stop points parametrization. 2019.
10. Morozov Aleksandr, Kontsevik Georgii, Shmeleva Irina, Schneider Lasse, Zakharenko Nikita, Budennyi Semen, Mityagin Sergey. Assessing the transport connectivity of urban territories, based on intermodal transport accessibility // Frontiers in Built Environment. 2023. №9. doi: 10.3389/fbuil.2023.1148708.
11. Scheurer Jan. Benchmarking Accessibility and Public Transport Network Performance in Copenhagen and Perth. ATRF 2010 // 33rd Australasian Transport Research Forum.(2010).
12. Albacete Xavier, Olaru Doina, Paül Valerià, Biermann Sharon. Measuring the Accessibility of Public Transport: A Critical Comparison Between Methods in Helsinki // Applied Spatial Analysis and Policy. 2017. №10. P. 1-28. doi: 10.1007/s12061-015-9177-8.
13. Об утверждении социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456042774?marker=6500PL>.
14. Войтенков С.С., Банкет М.В. Определение пешеходной доступности остановочных пунктов городского пассажирского транспорта // Вестник СибАДИ. 2022. №2(84).
15. Мхитарян С.В., Мусатова Ж.Б., Муртузалиева Т.В., Тимохина Г.С., Широценская И.П. Методика оценки транспортной доступности капитальных объектов мегаполиса на основе геоинформационных данных // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2021. №4.
16. Способы расчёта показателя пешеходной доступности остановочных пунктов общественного пассажирского транспорта для жилых домов / А.С. Морозов, А.А. Черников, К.В. Молоденов, М.А. Колесникова.
17. Казаков Н.А., Романова Е.П. Оценка территориальных различий в пересадочности пассажирских перевозок (на примере города Чебоксары Чувашской Республики) // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2017. №4.
18. Бурлуцкий А.А. Анализ опыта формирования оптимальных маршрутных схем городского пассажирского транспорта [Электронный ресурс] / Вестник ТГАСУ. 2013. №2 (39). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-opyta-formirovaniya-optimalnyh-marshrutnyh-shem-gorodskogo-passazhirskog>.
19. Поиск маршрута [Электронный ресурс] / Навитранс.Инфо. URL: <http://xn--80axnakf7a.xn--80acgfbssl1azdqr.xn--p1ai/index.html>.
20. Сведения о зарегистрированных на портале многоквартирных домах и организациях, осуществляющих управление ими [Электронный ресурс] / Фонд развития территорий. URL: <https://xn--p1aee.xn--p1ai/>.

**Гайсин Иван Антонович**

Уральский государственный университет путей сообщения  
Адрес: 620034, Россия, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66  
Аспирант  
E-mail: gaysin.vanya@mail.ru

**Мартыненко Александр Валерьевич**

Уральский государственный университет путей сообщения  
Адрес: 620034, Россия, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66  
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин  
E-mail: AMartynenko@usurt.ru

## TRANSPORTATION ACCESSIBILITY ASSESSMENT BASED ON INTERCHANGEABILITY

**Abstract.** Various foreign methods and tools used to study the problems of transport accessibility are considered. Transport data for a certain period are collected, on the basis of which the transport accessibility of the route network of Ekaterinburg is analyzed. A methodology for assessing transportation accessibility based on the indicator of continuity is proposed. Python with libraries designed to process large data sets and visualize the results was used in the work.

**Keywords:** transport accessibility, public transport, continuity, transport accessibility indicators, tools and methods of transport accessibility assessment, route network, standard of transport service

### BIBLIOGRAPHY

1. Grebennikov V.V., Munin D.A., Levashev A.G., Mikhaylov A.YU. Vidy transportnoy dostupnosti // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. 2012. №1(2).
2. Murtuzaliev T.V., Lukina A.V., Ivashkova N.I., Timokhina G.S., Shirochenskaya I.P. Podkhody k otsenke transportnoy dostupnosti v megapolisakh: opyt primeneniya tekhnologii geomarketinga // Rossiyskiy ekonomicheskiy zhurnal. 2021. №5. S. 42-61.
3. Prelovskaya E.S., Ivanchenko E.S., Levashev A.G. K voprosu o transportnoy dostupnosti // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. 2013. №1(4).
4. Tin'kov S.A. Podkhody k otsenke transportnoy dostupnosti toчек prityazheniya v megapolise // EPP. 2021. №2.
5. Dubovik V.O. Metody otsenki transportnoy dostupnosti territorii // Regional'nye issledovaniya. 2013. №4(42). S. 11-18. EDN RUDVDF.
6. Malashchuk P.A. Zarubezhnyy opyt otsenki transportnoy dostupnosti // Aktual'nye problemy, napravleniya i mekhanizmy razvitiya proizvoditel'nykh sil Severa - 2018: Sbornik statey Shestoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem): v 3 chastyakh. CH. II. Syktyvkar: OOO Komi respublikanskaya tipografiya, 2018. S. 220-224. EDN YTWIT.
7. Coppola Pierluigi, Aveta Carmine, Stangherlin Piera, Carbone Armando. Assessing transport policies for tourist mobility based on accessibility indicators // European Transport Research Review. 2020. doi: 10.1186/s12544-020-00444-4.
8. Saif Muhammad Atiullah, Maghrour Zefreh Mohammad, Torok Adam. Public Transport Accessibility: A Literature Review // Periodica Polytechnica Transportation Engineering. 2018. №3. 10.3311/PPtr.12072.
9. Lohvinenko Valeriia, Rossolov Oleksandr. Evaluation of transport accessibility of the public transport network on the basis of stop points parametrization. 2019.
10. Morozov Aleksandr, Kontsevik Georgii, Shmeleva Irina, Schneider Lasse, Zakharenko Nikita, Budennyi Semen, Mityagin Sergey. Assessing the transport connectivity of urban territories, based on intermodal transport accessibility // Frontiers in Built Environment. 2023. №9. doi: 10.3389/fbuil.2023.1148708.
11. Scheurer Jan. Benchmarking Accessibility and Public Transport Network Performance in Copenhagen and Perth. ATRF 2010 // 33rd Australasian Transport Research Forum.(2010).
12. Albacete Xavier, Olaru Doina, Pa?l Valeri?, Biermann Sharon. Measuring the Accessibility of Public Transport: A Critical Comparison Between Methods in Helsinki // Applied Spatial Analysis and Policy. 2017. №10. R. 1-28. doi: 10.1007/s12061-015-9177-8.
13. Ob utverzhdenii sotsial'nogo standarta transportnogo obsluzhivaniya naseleniya pri osushchestvlenii perevozok passazhirov i bagazha avtomobil'nykh transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom [Elektronnyy resurs] / Elektronnyy fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456042774?marker=6500IL>.
14. Voytenkov S.S., Banket M.V. Opredelenie peshekhodnoy dostupnosti ostanovochnykh punktov gorodskogo passazhirskogo transporta // Vestnik SibADI. 2022. №2(84).
15. Mkhitaryan S.V., Musatova ZH.B., Murtuzaliev T.V., Timokhina G.S., Shirochenskaya I.P. Metodika otsenki transportnoy dostupnosti kapital'nykh ob'ektov megapolisa na osnove geoinformatsionnykh dannykh // MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie). 2021. №4.
16. Sposoby raschiota pokazatelya peshekhodnoy dostupnosti ostanovochnykh punktov obshchestvennogo passazhirskogo transporta dlya zhilykh domov / A.S. Morozov, A.A. Chernikov, K.V. Molodenov, M.A. Kolesnikova.
17. Kazakov N.A., Romanova E.P. Otsenka territorial'nykh razlichiy v peresadochnosti passazhirskikh perevozok (na primere goroda Cheboksary Chuvashskoy Respubliki) // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle». 2017. №4.
18. Burlutskiy A.A. Analiz opyta formirovaniya optimal'nykh marshrutnykh skhem gorodskogo passazhirskogo transporta [Elektronnyy resurs] / Vestnik TGASU. 2013. №2 (39). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-opyta-formirovaniya-optimalnykh-marshrutnykh-shem-gorodskogo-passazhirskogo>.
19. Poisk marshruta [Elektronnyy resurs] / Navitrans.Info. URL: <http://xn--80axnkf7a.xn--80acgfbsl1azdqr.xn--p1ai/index.html>.
20. Svedeniya o zaregistrirrovannykh na portale mnogokvartirnykh domakh i organizatsiyakh, osushchestvlyayushchikh upravlenie imi [Elektronnyy resurs] / Fond razvitiya territoriy. URL: <https://xn--p1aee.xn--p1ai/>.

**Gaisin Ivan Antonovich**

Ural State University of Railway Transport  
Adress: 620034, Russia, St. Ekaterinburg  
Postgraduate student  
E-mail: gaisin.vanya@mail.ru

**Martynenko Alexander Valeryevich**

Ural State University of Railway Transport  
Adress: 620034, Russia, St. Ekaterinburg  
Candidate of Physical and Mathematical Sciences  
E-mail: AMartynenko@usurt.ru

Научная статья

УДК 656.02

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-38-45

А.В. КУЛЕВ, Д.О. ЛОМАКИН

## СОЦИАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД НАЗНАЧЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА МАРШРУТЫ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** Исследование посвящено разработке научного подхода назначения подвижного состава на маршруте городского пассажирского транспорта на основе предпочтений пассажиров. В работе проанализированы классы транспортных средств с учетом их достоинств и недостатков. В результате данного анализа предложено маршруты пассажирского транспорта представлять в виде комбинации трех маршрутов: обычного; полужэкспресного и скоростного.

**Ключевые слова:** маршрут, пассажир, класс транспортного средства, комфорт, время сообщения

### Введение

Более 20 лет в Российской Федерации имеет место тенденция снижения объемов перевозок пассажиров автомобильным транспортом (рис. 1). Такое положение дел в транспортной отрасли сопровождается ростом автомобилизации, что приводит к перегрузке улично-дорожной сети городов.

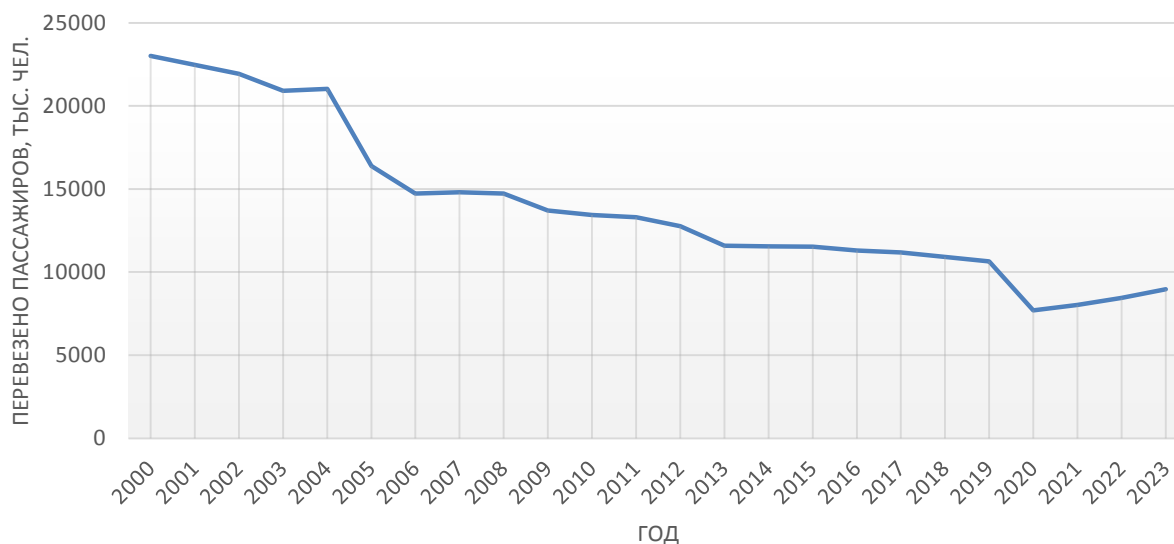


Рисунок 1 – Динамика изменения объемов перевозок пассажиров автомобильным транспортом в Российской Федерации

Если обратиться к определению термина качество услуги – это мера того, насколько хорошо уровень предоставляемых услуг соответствует ожиданиям клиента [1], то выясняется главный недостаток рассматриваемых нормативно-правовых документов – это отсутствие учета мнения пассажиров, которые и являются клиентами пассажирского транспорта. А без этого важного фактора невозможно выстроить такую систему, которая станет по-настоящему эффективной.

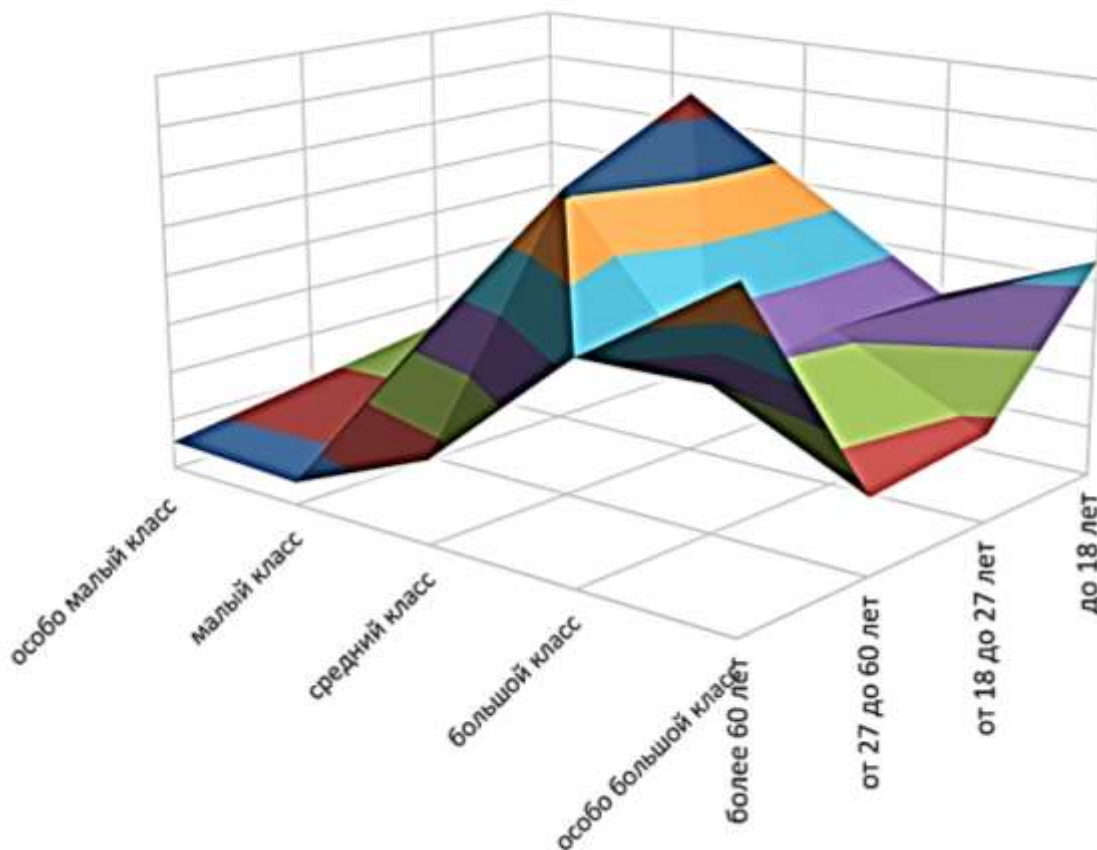
Поэтому важной и актуальной задачей является формирование маршрутной транспортной сети общественного транспорта на принципах социально-значимых для пассажиров показателей.



Совершенствованию принципов организации пассажирских перевозок посвящены труды многих ученых: А.Н. Новиков [2], С.Н. Глаголев [3], В.П. Белокуров [4], А.А. Белехов [5], А.Н. Семкин [6, 7], Р.А. Кораблев [8], В.В. Зырянов [9], А.А. Кудрявцев [10], А.Д. Ефимов [11], А.А. Степанов [12], В.В. Сиваков [13], А.С. Афанасьев [14], А.В. Терентьев [15], М.В. Кулев [16], Т.А. Ветрова [17], А.Г. Шевцова [18] и др.

**Материал и методы**

В работе [19] были установлены взаимосвязи между предпочтениями различных возрастных категорий граждан в выборе категории транспортного средства. Было выявлено, что лица старше 60 лет и младше 18 лет предпочитают более вместительный подвижной состав, в то время как граждане от 18 до 60 лет чаще выбирают менее вместительные транспортные средства (рис. 2).



**Рисунок 2 – Поверхность выбора различных классов транспортных средств пассажирами**

В работе [20] были определены предпочтения пассажиров к выбору транспортного средства с точки зрения комфорт или скорость сообщения (рис. 3).

Результаты данных исследований можно интерпретировать следующим образом: чем меньше вместимость транспортного средства, тем у него будет больше скорость сообщения на маршруте. Это объясняется меньшими габаритами, что повышает динамичность транспортных средств в потоке и меньшими затратами на посадку высадку пассажиров. С другой стороны, вместительные транспортные средства не обладают данными качествами, но из-за своих габаритов являются более комфортными.

**Теория / Расчет**

Различные классы вместимости транспортных средств имеют свои положительные стороны [19] (рис. 4). Поэтому при формировании пассажирориентированной маршрутной сети необходимо разрабатывать научные подходы к назначению на маршруты подвижного состава с учетом предпочтения пассажиров.





Рисунок 3 – Распределение пассажиров разных социальных категорий, для которых комфорт поездки важнее времени поездки



Рисунок 4 – Изменение характеристик работы подвижного состава в зависимости от его вместимости

Существует классификация маршрутов городского пассажирского транспорта (рис. 5), которая позволяет разделять маршруты по степени охвата остановочных пунктов, т.е. чтобы увеличить скорость сообщения можно перейти от обычного маршрута, например, к скоростному или полужэкспресному, путем исключения части остановочных пунктов.

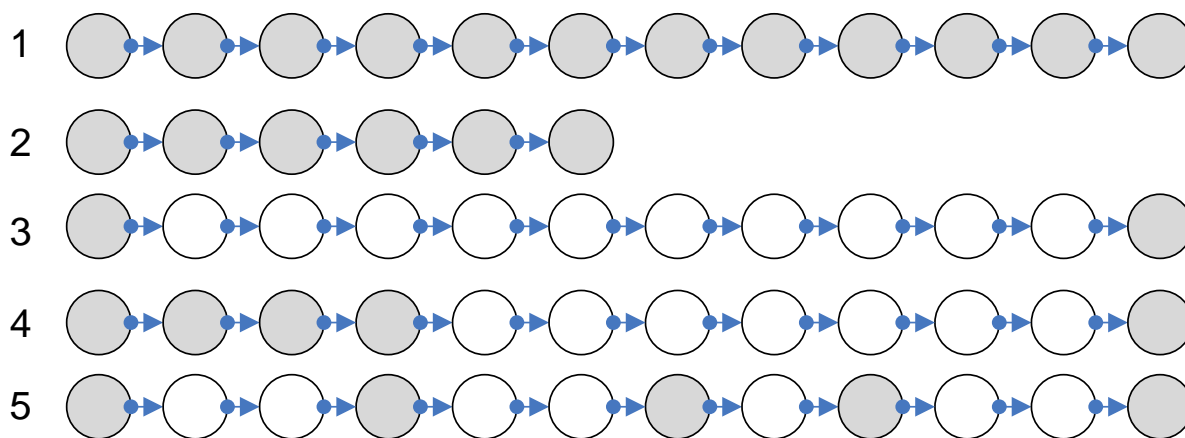


Рисунок 5 – Классификация маршрутов общественного транспорта:  
 1. Обычный; 2. Укороченное сообщение; 3. Экспрессный;  
 4. Полуэкспрессный; 5. Скоростной

Таким образом, возвращаясь к рисункам 2 и 3, на которых было выявлено распределение пассажиров по предпочтению того или иного класса транспортных средств и отношения ко времени поездки/комфарту, можно прийти к выводу, что для тех пассажиров для которых важна скорость оптимальным вариантом будет малый класс вместимости и скоростной вид маршрута. Тем самым будет достигнут максимум снижения затрат времени. С другой стороны, для тех пассажиров для которых важен комфорт поездки, а не время, можно назначить обычный маршрут с большой категорией вместимости.

В рамках настоящего исследования предлагается использования трех видов маршрутов в сочетании с пятью классами транспортных средств как это показано на рисунке 6.

Скоростной	→	Особо малый класс
	→	Малый класс
Полуэкспрессный	→	Средний класс
	→	Большой класс
Обычный	→	Особо большой класс

Рисунок 6 – Закрепление классов транспортных средств за видами маршрутов

Таким образом, понятно, что один маршрут можно разделить на три, например, маршрут №5 превратится в три маршрута:

- маршрут №5о – обычный маршрут;
- маршрут №5п – полуэкспрессный маршрут;
- маршрут №5с – скоростной маршрут.

Но остается не раскрытым вопрос сколько транспортных средств нужно закрепить за каждым из этих маршрутов. В общем случае количество автобусов зависит от максимального пассажиропотока в час пик  $Q_{MAX}$ . Как показывает рисунок 2 в данном пассажиропотоке  $Q_{MAX}$  часть пассажиров  $\alpha_1$  предпочитает использовать особо малый класс транспортных средств,  $\alpha_2$  – малый класс;  $\alpha_3$  – средний класс;  $\alpha_4$  – большой класс;  $\alpha_5$  – особо большой класс. Значения данных коэффициентов для каждого маршрута необходимо определять на основе предпочтений пассажиропотоков путем анкетирования:

$$\alpha_i = \frac{Q_i}{Q_{MAX}}, \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – весовой коэффициент предпочтения  $i$ -го класса транспортных средств;

$Q_i$  – количество пассажиров, предпочитающих  $i$ -й класс транспортных средств, чел.;

$Q_{MAX}$  – максимальный пассажиропоток в час пик (количество опрошенных пассажиров) чел.

Тогда количество автобусов для скоростного маршрута:

$$A_C = (\alpha_1 + \alpha_2) \frac{Q_{MAX} \cdot t_{об}}{60 \cdot \gamma_{см} \cdot q_{ни}}, \quad (2)$$

где  $t_{об}$  – время оборотного рейса, мин.

$q_{ни}$  – номинальная вместимость транспортного средства, пассажиры,

$\gamma_{см}$  – статический коэффициент использования вместимости.

Количество автобусов для полуэкспрессного маршрута:

$$A_{II} = \alpha_3 \frac{Q_{MAX} \cdot t_{об}}{60 \cdot \gamma_{см} \cdot q_{ни}}. \quad (3)$$

Количество автобусов для обычного маршрута:

$$A_O = (\alpha_4 + \alpha_5) \frac{Q_{MAX} \cdot t_{об}}{60 \cdot \gamma_{см} \cdot q_{ни}}. \quad (4)$$

В результате осуществляется замена одного маршрута на три с дифференциацией транспортных средств на основе предпочтений пассажиров. Такой подход позволит пассажирам, для которых приоритетом является время сообщения добраться до пункта назначения быстрее, чем при использовании классических маршрутов.

### **Результаты и обсуждение**

Проверка эффективности разработанной методики выполнялась с использованием средств имитационной моделирования дорожного движения PTV Vissim (рис. 7). Разработанная модель включала в себя маршрут общественного транспорта города Орла №27 «Наугорское шоссе — санаторий Лесной», протяженностью 14,5 км и включающим в себя 32 остановочных пунктов.

Для имитационных испытаний были сформированы дополнительно 2 маршрута: полуэкспрессный и скоростной. Полуэкспрессный маршрут включил в себя 10 наиболее значимых остановочных пунктов, скоростной – 20. На каждый из маршрутов были назначены классы транспортных средств в соответствии с рисунком 6.

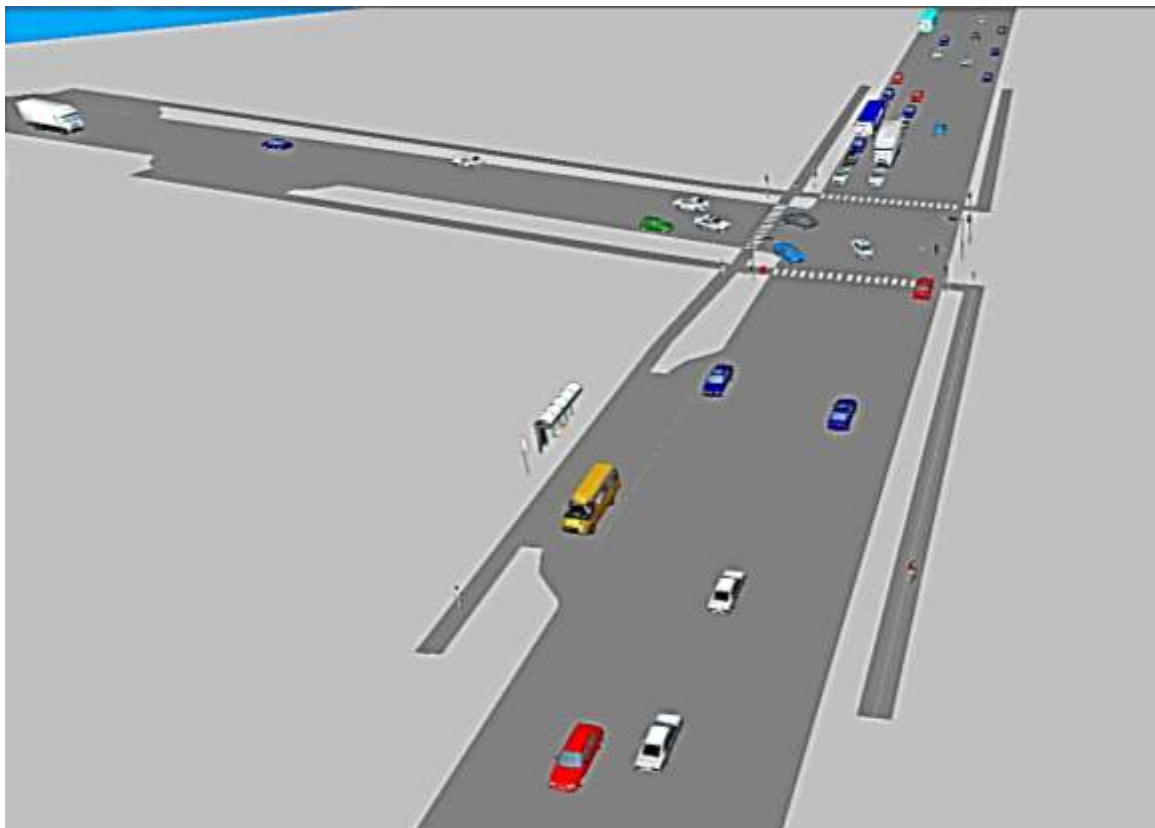


Рисунок 7 – Фрагмент разработанной модели

В таблице 1 представлены результаты проведения имитационного моделирования. Имитация осуществлялась в трех временных интервалах, которые отражают интенсивность транспортного потока на исследуемых участках маршрута в утренний час пик, межпиковое время и вечерний час пик. Анализируемой величиной является среднее время прохождения маршрута.

Таблица 1 – Результаты имитационного моделирования

Вид маршрута	Среднее время прохождения маршрута, мин		
	Утренний час пик	Межпиковое время	Вечерний час пик
Полуэкспрессный	36,9	33,3	37,1
Скоростной	40,4	37,5	41,3
Обычный	48,7	40,7	49,5

### **Выводы**

В результате проведенных исследований была разработана методика назначения подвижного состава на маршруты на основе предпочтений пассажиров. Для тех пассажиров, у которых в приоритете является время сообщения предложены полуэкспрессный и скоростной маршруты. На данные маршруты назначаются транспортные средства особо малого, малого и среднего класса. Такая комбинация параметров позволяет достигать значительного снижения времени движения.

Для тех категорий пассажиров, у которых в приоритете комфорт, предложен обычный маршрут, включающий все остановочные пункты и подвижной состав большой и особо большой вместимости.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Маркетинг: теория и практика: Учебник / Г.Д. Крылова, М.И. Соколова, Г.Д. Крылова, М.И. Соколова. Москва: Магистр, 2009. 493 с.
2. Новиков А.Н., Петрище Е.В. Проблемы транспортного обслуживания города Орла и Орловского муниципального округа // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-3(86). С. 48-54. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-48-54.
3. Глаголев С.Н., Новиков И.А., Ризаева Ю.Н., Лукинов А.С. Модель гибкого управления транспортом общего пользования // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-1(86). С. 138-146. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-138-146.
4. Белокуров В.П., Панявина Е.А., Бусарин Э.Н., Кораблев Р.А. Экономико-математические модели рационального развития городских пассажирских перевозок // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-1(86). С. 35-41. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-35-41.
5. Михневич И.М., Белехов А.А. Метод оценки целесообразности внедрения транспорта по запросу в городских и пригородных зонах // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-2(85). С. 32-41. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-32-41.
6. Семкин А.Н. Перспективы внедрения подсистемы обеспечения приоритетного проезда транспортных средств в ИТС городских агломераций // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-2(85). С. 123-130. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-123-130.
7. Семкин А.Н. Совершенствование алгоритмов информирования пассажиров на остановочных пунктах городских агломераций // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-1(85). С. 127-135. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-127-135.
8. Кораблев Р.А., Бусарин Э.Н., Белокуров В.П., Лихачев Д.В. Моделирование экологически рационального выбора типа городского пассажирского транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-1(85). С. 3-8. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-3-8.
9. 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.
10. Кудрявцев А.А., Воронов П.О. Методика оценки уровня комфортности пассажира в зависимости от наполнения салона // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-1(85). С. 23-30. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-23-30.
11. Ефимов А.Д., Караева М.Р., Алибагандов А.О., Нефедов В.В. Оценка потенциальной опасности регулярных маршрутов общественного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-1(85). С. 52-58. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-52-58.
12. Степанов А.А., Меренков А.О., Ласточкина Г.А. Стандарт интеллектуального транспортного обслуживания пассажиров // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-2(84). С. 132-138. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-2(84)-132-138.

13. Сиваков В.В., Юрков Е.А., Боровая К.С. Совершенствование пассажирских перевозок в Г. Брянске с использованием электрического транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-1(84). С. 13-21. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-13-21.

14. Афанасьев А.С., Шаммазов И.А., Кузнецова Е.А. Методика формирования интеграционной платформы функционирования транспортной системы наземного городского пассажирского транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-2(83). С. 61-69. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-61-69.

15. Присяжнюк М.С., Подопригора Н.В., Терентьев А.В. Выбор эффективных инструментов организации пассажирских перевозок в Ленинградской области // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(83). С. 60-66. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-60-66.

16. Кулев М.В., Колпаков И.В. Совершенствование транспортного обслуживания населения города Орла за счет разработки нового маршрута движения пассажирского транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(83). С. 107-114. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-107-114.

17. Ветрова Т.А. Развитие теоретических основ применения понятий «подмаршрут» и «подгруппа» // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-5(82). С. 80-85. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-80-85.

18. Якушева У.А., Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Перспективные методы совершенствования качества обслуживания пассажиров на вокзальных комплексах // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-4(82). С. 77-82. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-77-82.

19. Кулев А.В., Кулев М.В. Комплексная методика выбора подвижного состава городского пассажирского транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-2(83). С. 53-60. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-53-60.

20. Кулев А.В., Кулев М.В. Теоретические основы выбора пассажирами маршрутного транспортного средства в условиях повышения информативности о динамических показателях транспортного процесса // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-3(86). С. 55-61. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-55-61.

#### Кулев Андрей Владимирович

Орловский государственный университет  
имени И.С.Тургенева

Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77

К.т.н., доцент, доцент кафедры

сервиса и ремонта машин

E-mail: andrew.ka@mail.ru

#### Ломакин Денис Олегович

Орловский государственный университет  
имени И.С.Тургенева

Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77

К.т.н., доцент, доцент кафедры

сервиса и ремонта машин

E-mail: forstudentwork@mail.ru

A.V. KULEV, D.O. LOMAKIN

## SOCIALLY-ORIENTED APPROACH TO ASSIGNING ROLLING STOCK TO URBAN PASSENGER TRANSPORT ROUTES

**Abstract.** *The study is devoted to the development of a scientific approach to assigning rolling stock on the route of urban passenger transport based on passenger preferences. The work analyzes vehicle classes taking into account their advantages and disadvantages. As a result of this analysis, it was proposed to present passenger transport routes as a combination of three routes: regular; semi-express and high-speed.*

**Keywords:** *route, passenger, vehicle class, comfort, communication time*

### BIBLIOGRAPHY

1. Marketing: teoriya i praktika: Uchebnik / G.D. Krylova, M.I. Sokolova, G.D. Krylova, M.I. Sokolova. Moskva: Magistr, 2009. 493 s.
2. Novikov A.N., Petrishche E.V. Problemy transportnogo obsluzhivaniya goroda Orla i Orlovskogo munitsipalnogo okruga // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-3(86). S. 48-54. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-48-54.
3. Glagolev S.N., Novikov I.A., Rizaeva YU.N., Lukinov A.S. Model` gibkogo upravleniya transportom obshchego pol'zovaniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-1(86). S. 138-146. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-138-146.
4. Belokurov V.P., Panyavina E.A., Busarin E.N., Korablev R.A. Ekonomiko-matematicheskie modeli ratsional'nogo razvitiya gorodskikh passazhirskikh perevozk // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-1(86). S. 35-41. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-35-41.
5. Mikhnevich I.M., Belekhov A.A. Metod otsenki tselesoobraznosti vnedreniya transporta po zaprosu v gorodskikh i prigorodnykh zonakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №2-2(85). S. 32-41. DOI

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

6. Semkin A.N. Perspektivy vnedreniya podsistemy obespecheniya prioritetnogo proezda transportnykh sredstv v ITS gorodskikh aglomeratsiy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №2-2(85). S. 123-130. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-123-130.

7. Semkin A.N. Sovershenstvovanie algoritmov informirovaniya passazhirov na ostanovochnykh punktakh gorodskikh aglomeratsiy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №2-1(85). S. 127-135. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-127-135.

8. Korablev R.A., Busarin E.N., Belokurov V.P., Likhachev D.V. Modelirovanie ekologicheskoi ratsional'nogo vybora tipa gorodskogo passazhirskogo transporta // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №2-1(85). S. 3-8. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-3-8.

9. 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.

10. Kudryavtsev A.A., Voronov P.O. Metodika otsenki urovnya komfortnosti passazhira v zavisimosti ot napolneniya salona // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №2-1(85). S. 23-30. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-23-30.

11. Efimov A.D., Karaeva M.R., Alibagandov A.O., Nefedov V.V. Otsenka potentsial'noy opasnosti regul'nykh marshrutov obshchestvennogo transporta // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №2-1(85). S. 52-58. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-52-58.

12. Stepanov A.A., Merenkov A.O., Lastochkina G.A. Standart intellektual'nogo transportnogo obsluzhivaniya passazhirov // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №1-2(84). S. 132-138. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-2(84)-132-138.

13. Sivakov V.V., YUrkov E.A., Borovaya K.S. Sovershenstvovanie passazhirskikh perevozok v g. Bryanske s ispol'zovaniem elektricheskogo transporta // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №1-1(84). S. 13-21. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-13-21.

14. Afanas'ev A.S., Shammazov I.A., Kuznetsova E.A. Metodika formirovaniya integratsionnoy platformy funktsionirovaniya transportnoy sistemy nazemnogo gorodskogo passazhirskogo transporta // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №4-2(83). S. 61-69. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-61-69.

15. Prisyazhnyuk M.S., Podoprigora N.V., Terent'ev A.V. Vybory effektivnykh instrumentov organizatsii passazhirskikh perevozok v Leningradskoy oblasti // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №4-1(83). S. 60-66. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-60-66.

16. Kulev M.V., Kolpakov I.V. Sovershenstvovanie transportnogo obsluzhivaniya naseleniya goroda Orla za schet razrabotki novogo marshruta dvizheniya passazhirskogo transporta // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №4-1(83). S. 107-114. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-107-114.

17. Vetrova T.A. Razvitiye teoreticheskikh osnov primeneniya ponyatiy «podmarshrut» i «podgruppy» // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №3-5(82). S. 80-85. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-80-85.

18. YAkusheva U.A., Novikov A.N., Shevtsova A.G. Perspektivnye metody sovershenstvovaniya kachestva ob-sluzhivaniya passazhirov na vokzal'nykh kompleksakh // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №3-4(82). S. 77-82. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-77-82.

19. Kulev A.V., Kulev M.V. Kompleksnaya metodika vybora podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №4-2(83). S. 53-60. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-53-60.

20. Kulev A.V., Kulev M.V. Teoreticheskie osnovy vybora passazhirami marshrutnogo transportnogo sredstva v usloviyakh povysheniya informativnosti o dinamicheskikh pokazatelyakh transportnogo protsessa // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №3-3(86). S. 55-61. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-55-61.

---

**Kulev Andrei Vladimirovich**

Orel State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: andrew.ka@mail.ru

**Lomakin Denis Olegovich**

Orel State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: forstudentwork@mail.ru

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

---

Научная статья

УДК 625.7

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-46-55

А.Н. НОВИКОВ, А.Е. АКИМОВ, С.Н. БОНДАРЕНКО, А.Н. БОДЯКОВ

### АНАЛИЗ ДИАГНОСТИКИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

***Аннотация.** Для обеспечения надлежащего уровня потребительских свойств улично-дорожной сети и предотвращения возникновения критических ситуаций оператор системы контроля дорожного фонда должен располагать актуальной и точной информацией о техническом состоянии обслуживаемого объекта. На сегодняшний день актуальной проблемой в сфере дорожного хозяйства является своевременное получение информации о состоянии объекта транспортной инфраструктуры и оперативное принятие решений. Поэтому цель работы заключалась в оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги на выбранном участке, направленной на определение степени соответствия её характеристик нормативным требованиям. В процессе проведения исследований были получены данные с пилотного участка улично-дорожной сети г. Белгорода, произведена обработка данных и их оценка в соответствии с техническими требованиями, построена концепция системы управления улично-дорожной сетью на базе информации о ее транспортно-эксплуатационном и техническом состоянии.*

***Ключевые слова:** интенсивность движения, колеиность, сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием, продольная ровность проезжей части, международный показатель ровности iri (international roughness index)*

#### **Введение**

Важнейшим условием для внедрения превентивных способов продления межремонтного срока покрытия является учет региональных особенностей ухудшения технического состояния, развития деформаций и дефектов дорог для назначения технически обоснованного способа их планово-предупредительного ремонта и содержания. При этом ключевой особенностью такого способа планирования дорожных работ, вне зависимости от региона их использования, является необходимость его назначения не по факту возникновения критических дефектов дороги, снижающих удобство и безопасность движения, а в соответствии с фактическим эксплуатационным характеристиками и тенденциями к их ухудшению с учетом особенностей жизненного цикла конкретного объекта. Изучение таких характеристик следует производить на основе эмпирических подходов к оценке скорости накопления дефектов, процесса их развития и, как следствие, перехода из одного эксплуатационного состояния в иное, ухудшенное. Также следует принимать во внимание изменение внешних эксплуатационных воздействий.

В настоящее время автомобильные дороги являются одним из ключевых элементов транспортной инфраструктуры страны, от качества и надёжности которых зависит устойчивое развитие государства и его экономическое благополучие, достигаемое за счёт обеспечения беспрепятственного движения любых видов транспортных средств. Для осуществления безопасного движения автотранспорта дорожными службами регулярно осуществляются диагностические мероприятия, направленные на получение качественных показателей, по оценке которых можно делать выводы о транспортно-эксплуатационном состоянии объектов транспортной сети и судить о степени соответствия нормативных требований фактическим потребительским свойствам автомобильных дорог, их основным параметрам и характеристикам [1-5]. По комплексному показателю, полученному из актуальных и достоверных сведений о транспортно-эксплуатационном состоянии автодороги, выявляются несоответ

ствия показателей дороги существующим требованиям. Диагностика автомобильной дороги проводится систематически на протяжении всего срока эксплуатации дорог и подразделяется на 4 вида, согласно рисунку 1.



Рисунок 1 – Виды диагностики автомобильных дорог

Основой рационального управления улично-дорожной сетью (или опорной сетью региональных дорог) должен стать мониторинг их технического состояния, проводимый в соответствии с графиком, позволяющем поддерживать банк данных дорожной информации в актуальном состоянии. Информация, получаемая в результате комплексной диагностики, может быть разделена на группы в соответствии с продолжительностью ее актуальности. Первая группа данных относится к постоянным данным, определяются при первичной инвентаризации или паспортизации автомобильной дороги и до конца срока эксплуатации (т.е. капитальном ремонте, изменений семьи организации движения или реконструкции) автомобильной дороги или улицы не подлежат изменению. Этот раздел данных является каркасом всего банка дорожных данных. Вторая группа данных – данные с медленным накоплением изменений куда включаются те параметры, которые не имеют резких изменений в течении срока эксплуатации автомобильной дороги и не оказывают прямого резкого влияния на безопасность движения. Третья группа – данные с быстрым накоплением, представляют собой блок информации о техническом состоянии дорожного покрытия и объектов организации дорожного движения. Данный блок содержит параметры дорожного покрытия, оказывающие непосредственное влияние на безопасность движения и требует анализа не только соответствия фактических параметров нормативным требованиям, но и тенденций их изменения. Классификация всех данных, получаемых с автомобильных дорог приведена на рисунке 2.

Периодически осуществляемую на протяжении всего эксплуатационного периода автодороги диагностику выполняют с целью оценки надежности транспортных сооружений по потребительским характеристикам, обеспечиваемых фактическим эксплуатационным обслуживанием, геометрическими параметрами, техническими характеристиками, обустройством и инженерным оснащением. Все первичные данные, полученные в процессе диагностики дорожных объектов, проходят камеральную обработку, в процессе которой преобразованные данные систематизируют и приводят к единообразию. На основании полученной информации выявляются участки автомобильных дорог, не соответствующие нормативным требованиям, и руководствуясь основополагающими стандартами назначаются виды работ и мероприятия, направленные на устранение несоответствия и повышения транспортно-эксплуатационного состояния до требуемого уровня. Улучшение транспортно-эксплуатационных характеристик и обеспечение высокой работоспособности автомобильных



дорог в реальных природно-климатических условиях требует прочной теоретической базы и анализа статистики эксплуатации дорог [6-20].



Рисунок 2 – Классификация дорожной информации

### Материал и методы

С целью поиска оптимальных методов обработки данных, полученных в ходе хранения и вывода информации были выполнены натурные измерения участка улично-дорожной сети (УДС) города Белгорода, включающий в себя две городские улицы. Первая автомобильная дорога располагается по улице Сторожевой. Начало автомобильной дороги находится на съезде с кольцевого пересечения с улицей К. Заслонова. Конец автомобильной дороги находится на въезде на кольцевое пересечение с улицей Корочанская. Общая длина автомобильной дороги составляет 3840 м.

Основной ход автомобильной дороги представлен четырьмя полосами, две для прямого направления движения и две для обратного. На начальном участке встречные потоки автомобильного транспорта разделены барьерным ограждением. На дороге имеются примыкания второстепенных дорог, съездов. Одно из примыканий имеет светофорное регулирование. По дороге осуществляется движение общественного транспорта, размещены остановочные комплексы, переходно-скоростные полосы отсутствуют. На дороге организованы пешеходные переходы без светофорного регулирования.

Вторая автомобильная дорога пилотного участка УДС примыкает к улице Сторожевой справа по ходу движения на км 2+955. Примыкание оснащено светофорным регулированием. Автомобильная дорога расположена на двух улицах: Перспективная и Энергетиков и связывает жилой район «41-й микрорайон» с автомобильной дорогой, расположенной по улице Сторожевая. Начало автомобильной дороги находится на примыкании с улицей Сторожевая, а конец автомобильной дороги находится на въезде на кольцевое пересечение с улицей 1-я Вербная (рис. 3).

Измерения выполняются согласно ГОСТ 33101–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности» с применением комплексной передвижной дорожной лаборатории «Трасса».

Состояние дорожного покрытия на участке проведения измерений должно обеспечивать возможность движения дорожной лаборатории с рабочей скоростью  $60 \pm 2$  км/ч.

Измерение продольной ровности производится путем построения микропрофиля автомобильной дороги при помощи лазерного профилометра относительно математически стабилизированной (инерциальной) плоскости.

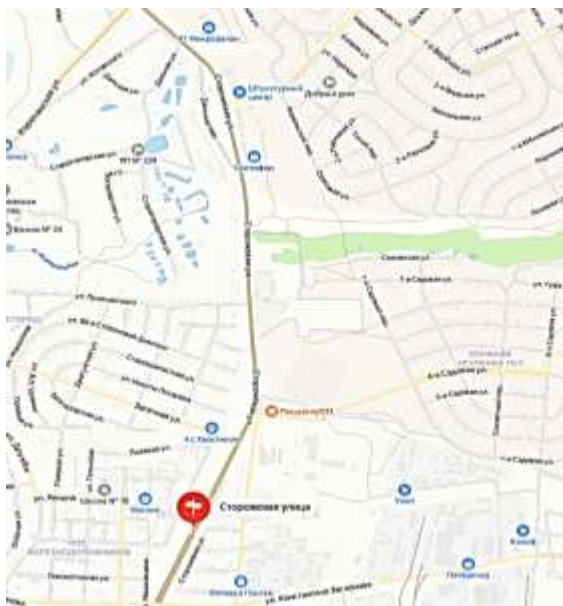


Рисунок 3 – Схема района расположения исследуемого участка УДС

Фиксация поперечной ровности проезжей части производится с применением скоростных 2D профилометров, регистрирующих профиль покрытия через каждые 10 м.

Сцепление колеса автомобиля с покрытием характеризуется значением показателя коэффициента сцепления, определяемого при полной блокировке колеса на предварительно смоченной поверхности покрытия автомобильной дороги при стандартных условиях, с последующим вычислением отношения полученного значения касательного усилия к значению нормальной реакции дорожного покрытия.

Определение модуля упругости производилось согласно ГОСТ 32729-2014. При выполнении измерений применяют следующее оборудование:

- установка испытательная динамического нагружения падающим грузом (Дина-4 в составе

передвижной дорожной лаборатории КП-514 СМП), создающая требуемую нагрузку на дорожное покрытие с точностью до 0,1 кН, и включающая:

- 1) нагрузочную плиту (жесткий штамп), выполненную из металла, диаметром не менее 300 мм. Нагрузочная плита должна обеспечивать плотное прилегание к дорожному покрытию;
- 2) измеритель нагрузки, фиксирующий прилагаемую нагрузку с погрешностью не более 0,1 кН;
- 3) измерители прогиба с погрешностью не более 0,01 мм в количестве не менее 7 шт.

Замер модуля упругости производился не реже чем в 2 точках на 1 км. При этом в случае изменения конструкции земляного полотна или дорожной одежды назначаются дополнительные точки. Также, дополнительные точки необходимы в случаях значительного изменения получаемых значений.

Определение интенсивности движения производится автоматизированным методом с применением программно-аппаратного комплекса «Интенсивность», входящего в оснащение передвижной лаборатории «Трасса». Система состоит из видеонализатора транспортного потока, и программы обработки видеоряда, позволяющий установить следующие параметры транспортного потока: тип транспортного средства, скорость движения, количество транспортных средств, проехавших через сечение автомобильной дороги в единицу времени.

### Результаты и обсуждение

Таблица 1 – Результаты измерения коэффициента сцепления дорожных покрытий, ул. Сторожевая

Участки		Количество	Протяженность, км	%
1-я полоса, прямое направление.	Соответствует нормативу	6	3.551	100.00
	Не соответствует нормативу	0	0.000	0.00
	Общая протяженность, км	3.551		
2-я полоса, прямое направление	Соответствует нормативу	6	3.569	100.00
	Не соответствует нормативу	0	0.000	0.00
	Общая протяженность, км	3.569		
1-я полоса, обратное направление	Соответствует нормативу	6	3.250	100.00
	Не соответствует нормативу	0	0.000	0.00
	Общая протяженность, км	3.250		
2-я полоса, обратное направление	Соответствует нормативу	6	3.186	100.00
	Не соответствует нормативу	0	0.000	0.00
	Общая протяженность, км	3.186		

На всех участках измерения результаты соответствуют нормативному требованию ГОСТ Р 50597-2017, пункт 5.2.2 - коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием должен быть не менее 0,3. Измерение коэффициента сцепления производилось в левой полосе наката в каждой полосе движения. Автомобильная дорога разделялась на участки по 1 км, измерение выполнялось один раз на 1 км при условии однородности получаемых значений. В характерных точках производились дополнительные замеры:

- участки торможения перед перекрестком со светофорным регулированием;
- участки торможения перед пешеходными переходами;
- участки автомобильной дороги перед горизонтальными кривыми малых радиусов.

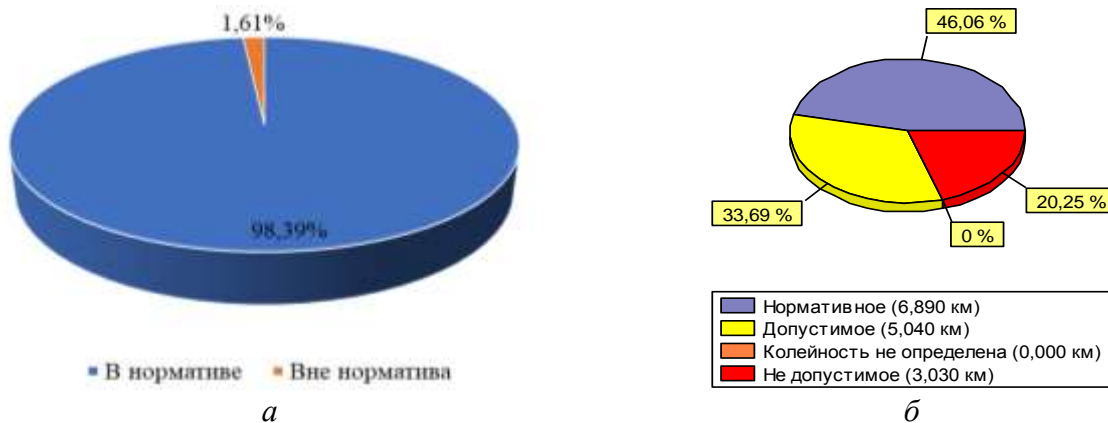


Рисунок 4 – ул. Сторожевая, соответствие продольной (а) и поперечной (б) ровности нормативным значениям

По полученным данным для улицы Сторожевой 98,39% измеренных значений соответствуют нормативу (рис. 4 а), а показатель колеености соответствует только в 46,06 % нормативному значению (рис. 4 б).

Для участка УДС ул. Перспективная – ул. Энергетиков, соответствуют требованиям только 58,03% измеренных значений (рис. 5 а и 5 б). При этом поперечная ровность находится в нормативе только в 21,65 % случаев и 55,67 % значений находится в допустимом пределе. При этом допустимая глубина колеи – не более 30 мм, нормативная глубина колеи менее 20 мм.



Рисунок 4 – ул. Перспективная – ул. Энергетиков, соответствие продольной (а) и поперечной (б) ровности нормативным значениям

С целью определения остаточного ресурса автомобильных дорог улично-дорожной сети и анализ причин возникновения дефектов был произведен замер динамического модуля упругости на поверхности дорожного покрытия (табл. 2 и 3).

Для выполнения измерений интенсивности движения были устроены передвижные посты измерения, размещенные по основному и примыкающему направлению. Интенсивность движения имеет ярко-выраженное экстремальное распределение в утренние часы с пиковыми значениями, приходящимися на промежуток с 7:00 до 9:00, и более сглаженное распределение значений в вечерние часы. Результаты определения интенсивности движения приведены на рисунках 5 и 6.

Таблица 2 – Результаты измерения несущей способности (прочности) дорожных покрытий, ул. Сторожевая

№ измерения	Прочность, МПа	Прочность приведенная к 10 градусам, МПа	Прочность статическая, МПа
1	455.4	471.7	362.8
2	538.6	557.9	429.1
3	722.8	748.5	575.8
4	464.1	481.4	370.3
5	772.0	801.0	616.2
6	835.0	865.7	665.9
7	699.9	730.1	561.6
8	1052.2	1096.7	843.6

Таблица 3 – Результаты измерения несущей способности (прочности) дорожных покрытий, ул. Перспективная – ул. Энергетиков

№ измерения	Прочность, МПа	Прочность приведенная к 10 градусам, МПа	Прочность статическая, МПа
1	362.0	375.5	288.9
2	446.8	465.3	358.0
3	407.8	424.7	326.7

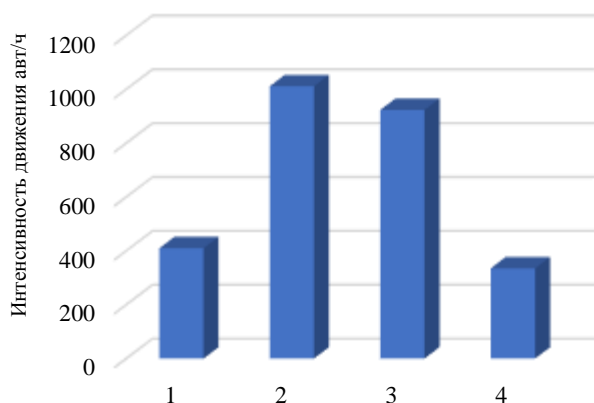


Рисунок 5 – Интенсивность движения по основному направлению в утренние часы

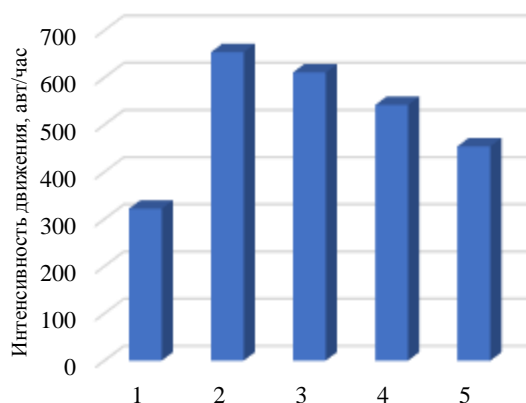


Рисунок 6 – Интенсивность движения по основному направлению в вечерние часы

### Выводы

Полученные результаты мониторинга участков улично-дорожной сети показывают, что общее состояние покрытия проезжей части находится в предельном состоянии. Состояние проезжей части основного направления требует проведение мероприятий как минимум по устранению колеиности, так как величина колеи уже имеет критическую величину на некоторых участках, что отрицательно сказывается не только на удобстве, но и безопасности движения. Показатели продольной ровности находятся в нормативе, но приближаются к предельному значению. Основываясь на полученных данных, можно сформировать методику анализа данных мониторинга, позволяющего сделать выводы не только по текущему техническому состоянию, но и перспективе его развития в будущем.

Участок улично-дорожной сети по полученным результатам можно разбить на подучастки в соответствии с их текущим состоянием:

- участки с состоянием покрытия, угрожающим безопасности движения, включая колеиность выше критического значения, ровность хуже нормативного значения;

- участки, требующие дополнительного мониторинга по причине приближения транспортно-эксплуатационных показателей к критическим значениям;
- участки нормальной эксплуатации.

Данные, полученные при сплошном мониторинге, должны лечь в основу постановки двух видов задач:

- задачи оперативного управления объектом улично-дорожной сети, представляющие собой, во-первых, реакцию на состояние объекта, угрожающее безопасности дорожного движения и назначение мероприятий по содержанию, а во-вторых, назначение мероприятий мониторинга на проблемных участках улично-дорожной сети;
- задачи перспективного управления, представляющие собой реакцию на предельное состояние объекта и назначение временных рамок и проекта капитального ремонта и реконструкции на всем объекте или его части, не соответствующей текущим транспортным нагрузкам.

Рассматривая объекты улично-дорожной сети пилотного участка с точки зрения оператора, был установлен тип, желаемый вид и объем информации, который необходимо получить для эффективного управления вверенным фондом. Учитывая объемы реальных улично-дорожных сетей и необходимость оперативного реагирования на изменение их технического состояния предложены способы автоматизации оценки и принятия решения по таким ситуациям. При этом, важным фактором является не только хранение и анализ имеющихся данных, но и анализ накопленной информации с целью выявления тенденции по ухудшению транспортно-эксплуатационного состояния участков улично-дорожной сети или автомобильных дорог

Проведенные исследования позволят создать систему управления улично-дорожной сетью с гибкими возможностями наполнения данными и формированием итоговых ведомостей различного назначения. Опираясь на полученную информацию о состоянии автомобильной дороги и время ее актуальности система управления улично-дорожной сетью должна обеспечивать следующий функционал:

- хранение полученных данных с привязкой к объекту и линейного положения конкретного участка;
- анализ информации о транспортно-эксплуатационном состоянии и установление его соответствия;
- вывод имеющейся информации в ведомости – транспортно-эксплуатационного состояния;
- мониторинг устаревания имеющейся информации и напоминания о необходимости ее актуализации;
- получение обновленных данных, сравнение с имеющейся информацией, выявление тенденции к ухудшению;
- распознавание опасного состояния и опасных сочетаний возникающих дефектов.

Повышение оперативности назначения различных мероприятий позволят существенно повысить эксплуатацию городских дорог и улиц, а именно:

- продлить жизненный цикл автомобильной дороги и обстановки;
- сократить издержки благодаря рациональному назначению эксплуатационных мероприятий;
- повысить безопасность дорожного движения и комфорт всех участников дорожного движения.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе БГТУ им. В.Г. Шухова. Работа выполнена с использованием оборудования ЦВТ на базе БГТУ им. В.Г. Шухова

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Жилин Н.С. Диагностика автомобильных дорог для повышения безопасности движения // Мир дорог. 2020. №127. С. 58-59.
2. Павлова Л.В., Богачев Н.В. Влияние состояния автомобильных дорог на безопасность движения // Тенденции развития науки и образования. 2023. №101-4. С. 148-151. DOI 10.18411/trnio-09-2023-195.
3. Абрамова Л.С., Птица Г.Г. Классификация методов определения показателей безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 2. С. 8-16.
4. Сунгатуллина К.А. Влияние эксплуатационного состояния автомобильных дорог на безопасность дорожного движения // Вестник НЦБЖД. 2021. №2(48). С. 118-122.
5. Руденко Н.В. Характеристики дорожного движения по автомобильным дорогам и методы оценки безопасности дорожного движения // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2022. Т. 7. №3-3(25). С. 100-106.
6. Багдасарян А.А. Современное оборудование для обследования автомобильных дорог // Мир дорог. 2021. №138. С. 70-73.
7. Жилина О.М. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния сети автомобильных дорог региона с использованием Геоинформационной системы «Титул-ПРО» // Мир дорог. 2021. №139. С. 116-119.
8. Жилин Н.С. Комплексная передвижная дорожная лаборатория «Трасса-2» // Мир дорог. 2021. №137. С. 116-119.
9. Лукьянов А.М., Боровской А.Е., Поляков В.М., Яковлева Е.И. О некоторых вопросах использования навигационных систем для определения жизненного цикла автомобильных дорог // Техника и технология транспорта. 2016. №1(1). С. 26-31.
10. Способ мониторинга дорожного полотна автомобильных дорог: пат. 2762538 С1 Рос. Федерация, № 2021100197 / В. Л. Быков, Л. В. Быков, А. Г. Мадиев: заявл. 11.01.21; опубл. 21.12.21.
11. Акимов А.Е., Бондаренко С.Н., Бодяков А.Н., Курлыкина А.В. К вопросу о создании цифрового двойника для строительства автомобильной дороги // Системные технологии. 2023. №4(49). С. 25-34. DOI 10.55287/22275398\_2023\_4\_25.
12. Комарова А.А., Акулов А.О. Паспортизация автомобильных дорог с использованием цифровых технологий и двойников // Московский экономический журнал. 2024. Т. 9. №6. С. 55-73. DOI 10.55186/2413046X\_2024\_9\_6\_279.
13. Цифровые технологии в транспортно-дорожном комплексе / А.Н. Новиков, И.А. Новиков, Н.А. Загородний, А.Г. Шевцова. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. 429 с.
14. Гусейналиев В.А. Анализ транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог РФ // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2012. № 4(31). С. 73-76.
15. Прохоров В.М., Колесников К.В., Слостенин А.Ю. От цифрового пути к цифровым технологиям // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2024. №1(65). С. 42-48.
16. Варятченко А.П., Шкурина Л.В. Развитие информационного обеспечения управления качеством и безопасностью автомобильных дорог на основе цифрового подхода // Цифровая трансформация в экономике транспортного комплекса. Москва: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М». 2021. С. 70-74.
17. Гнездилова С.А., Гричаников В.А., Погромский А.С. [и др.] Создание систем управления состоянием дорожных конструкций как эффективного инструмента повышения безопасности движения на автомобильных дорогах // Воронежский научно-технический Вестник. 2023. Т. 4. №4(46). С. 87-96. DOI 10.34220/2311-8873-2023-87-96.
18. Васильев М.Д., Охлопкова С.А. Проектирование и разработка IOS приложения для отслеживания дорожных выбоин // Современные наукоемкие технологии. 2023. №12-1. С. 16-20. DOI 10.17513/snt.39854.
19. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of new-generation anti-icing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // Transportation Research Procedia. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.
20. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.

**Новиков Александр Николаевич**

Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева

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

Д.т.н., проф., заведующий кафедрой сервиса и ремонта машин

E-mail: novikovan@ostu.ru



**Акимов Андрей Евгеньевич**

Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46  
К.т.н., ведущий инженер кафедры «Автомобильные и железные дороги им. А. М. Гридчина»  
E-mail: akimov548@gmail.com

**Бондаренко Светлана Николаевна**

Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46  
К.т.н., доцент кафедры «Автомобильные и железные дороги им. А. М. Гридчина»  
E-mail: sveta-zolotykh@yandex.ru

**Бодяков Александр Николаевич**

Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46  
К.т.н., заведующий лабораторией кафедры «Автомобильные и железные дороги им. А. М. Гридчина»  
E-mail: savaa72@mail.ru

---

A.N. NOVIKOV, A.E. AKIMOV, S.N. BONDARENKO, A.N. BODYAKOV

## **ANALYSIS OF DIAGNOSTICS OF THE STREET AND ROAD NETWORK IN OR-DER TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF ITS OPERATION**

***Abstract.** To ensure an appropriate level of the road network consumer properties and to prevent the critical situations occurrence, the road fund control system operator must provide up-to-date and accurate information about the technical condition of the serviced facility. To date, major problem in the field of road management is the timely receipt of information about the state of the transport infra-structure facility and prompt decision-making. Therefore, the purpose of the work was to assess the transport and operational condition of the road on the selected section, aimed at determining the degree of compliance of its characteristics with regulatory requirements. In the course of the re-search, data were obtained from the pilot section of the Belgorod street road network, data processing and evaluation were performed in accordance with technical requirements, and the concept of a street road network management system was built based on information about its transport, operational and technical condition*

***Keywords:** traffic intensity, wheel tracking, grip of wheel, longitudinal evenness of the road surface, international roughness index, IRI*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. ZHilin N.S. Diagnostika avtomobil`nykh dorog dlya povysheniya bezopasnosti dvizheniya // Mir dorog. 2020. №127. S. 58-59.
2. Pavlova L.V., Bogachev N.V. Vliyanie sostoyaniya avtomobil`nykh dorog na bezopasnost` dvizheniya // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2023. №101-4. S. 148-151. DOI 10.18411/trnio-09-2023-195.
3. Abramova L.S., Ptitsa G.G. Klassifikatsiya metodov opredeleniya pokazateley bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na avtomobil`nykh dorogakh // Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. 2013. T. 2. S. 8-16.
4. Sungatullina K.A. Vliyanie ekspluatatsionnogo sostoyaniya avtomobil`nykh dorog na bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya // Vestnik NTSBZHD. 2021. №2(48). S. 118-122.
5. Rudenko N.V. Harakteristiki dorozhnogo dvizheniya po avtomobil`nym dorogam i metody otsenki bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Mezhdunarodnyy zhurnal informatsionnykh tekhnologiy i energoeffektivnosti. 2022. T. 7. №3-3(25). S. 100-106.
6. Bagdasaryan A.A. Sovremennoe oborudovanie dlya obsledovaniya avtomobil`nykh dorog // Mir dorog. 2021. №138. S. 70-73.
7. ZHilina O.M. Otsenka transportno-ekspluatatsionnogo sostoyaniya seti avtomobil`nykh dorog regiona s ispol`zovaniem Geoinformatsionnoy sistemy «Titul-PRO» // Mir dorog. 2021. №139. S. 116-119.
8. ZHilin N.S. Kompleksnaya peredvizhnaya dorozhnaya laboratoriya «Trassa-2» // Mir dorog. 2021. №137. S. 116-119.
9. Luk`yanov A.M., Borovskoy A.E., Polyakov V.M., YAKovleva E.I. O nekotorykh voprosakh ispol`zovaniya navigatsionnykh sistem dlya opredeleniya zhiznennogo tsikla avtomobil`nykh dorog // Tekhnika i

tehnologiya transporta. 2016. №1(1). S. 26-31.

10. Sposob monitoringa dorozhnogo polotna avtomobil`nykh dorog: pat. 2762538 C1 Ros. Federatsiya, № 2021100197 / V. L. Bykov, L. V. Bykov, A. G. Madiev: zayavl. 11.01.21; opubl. 21.12.21.

11. Akimov A.E., Bondarenko S.N., Bodyakov A.N., Kurlykina A.V. K voprosu o sozdanii tsifrovogo dvoynika dlya stroitel'stva avtomobil'noy dorogi // Sistemye tekhnologii. 2023. №4(49). S. 25-34. DOI 10.55287/22275398\_2023\_4\_25.

12. Komarova A.A., Akulov A.O. Paspportizatsiya avtomobil`nykh dorog s ispol`zovaniem tsifrovyykh tekhnologiy i dvoynikov // Moskovskiy ekonomicheskyy zhurnal. 2024. T. 9. №6. S. 55-73. DOI 10.55186/2413046X\_2024\_9\_6\_279.

13. Tsifrovyye tekhnologii v transportno-dorozhnom komplekse / A.N. Novikov, I.A. Novikov, N.A. Zagorodniy, A.G. Shevtsova. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskyy universitet im. V.G. Shukhova, 2019. 429 s.

14. Guseynaliev V.A. Analiz transportno-ekspluatatsionnogo sostoyaniya avtomobil`nykh dorog RF // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2012. № 4(31). S. 73-76.

15. Prokhorov V.M., Kolesnikov K.V., Slastenin A.YU. Ot tsifrovogo puti k tsifrovym tekhnologiyam // Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolii: Tekhnika zheleznykh dorog. 2024. №1(65). S. 42-48.

16. Varyatchenko A.P., SHkurina L.V. Razvitie informatsionnogo obespecheniya upravleniya kachestvom i bezopasnost'yu avtomobil`nykh dorog na osnove tsifrovogo podkhoda // Tsifrovaya transformatsiya v ekonomike transportnogo kompleksa. Moskva: OOO "Nauchno-izdatel'skiy tsentr INFRA-M". 2021. S. 70-74.

17. Gnezdilova S.A., Grichanikov V.A., Pogromskiy A.S. [i dr.] Sozdanie sistem upravleniya sostoyaniem dorozhnykh konstruktsey kak effektivnogo instrumenta povysheniya bezopasnosti dvizheniya na avtomobil`nykh dorogakh // Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskyy Vestnik. 2023. T. 4. №4(46). S. 87-96. DOI 10.34220/2311-8873-2023-87-96.

18. Vasil'ev M.D., Okhlopko S.A. Proektirovanie i razrabotka IOS prilozheniya dlya otslezhivaniya dorozhnykh vyboin // Sovremennyye naukoemkie tekhnologii. 2023. №12-1. S. 16-20. DOI 10.17513/snt.39854.

19. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of new-generation antiicing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // Transportation Research Procedia. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.

20. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.

**Novikov Alexander Nikolaevich**

Oryol State University

Address: 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str., 95

Doctor of Technical Sciences

E-mail: novikovan@ostu.ru

**Akimov Andrey Evgenievich**

State Technological University

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

Candidate of Technical Sciences

E-mail: akimov548@gmail.com

**Bondarenko Svetlana Nikolaevna**

State Technological University

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

Candidate of Technical Sciences

E-mail: sveta-zolotikh@yandex.ru

**Bodyakov Alexander Nikolaevich**

State Technological University

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

Candidate of Technical Sciences

E-mail: savaa72@mail.ru



Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-56-64

Е.С. СЫТНИК

## АНАЛИЗ СПЕЦИФИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ И УГРОЗ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОГЕННЫМИ ОТХОДАМИ СИСТЕМЫ АВТОСЕРВИСА

**Аннотация.** Увеличение выбросов загрязняющих веществ и накопление отходов от функционирования автотранспорта приводят к ряду экологических проблем. В данной статье рассматриваются различные виды техногенных отходов (отработанные масла, шины, аккумуляторы) и их потенциальное воздействие на окружающую среду. Подчеркивается необходимость разработки и внедрения экологически устойчивых практик на предприятиях автосервиса для снижения техногенного воздействия на экологию. Предложена инициатива по управлению потоками техногенных отходов в системе автосервиса с фокусом на предотвращении экологических рисков и угроз. Акцентируется внимание на необходимости комплексного подхода, который позволит обеспечить устойчивое функционирование объектов автосервиса в будущем, снижая отрицательное воздействие на окружающую среду.

**Ключевые слова:** автосервис, техногенные отходы, отработанные масла, изношенные шины, аккумуляторы, экология, управление отходами

### **Введение**

Автомобильный транспорт (АТ), охватывающий как сами транспортные средства, так и сопутствующую инфраструктуру, сталкивается с рядом экологических проблем и является одним из основных источников негативного воздействия на окружающую среду (ОС) [1]. Постоянно увеличивающийся парк автотранспортных средств (АТС) ведет к росту выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, что негативно сказывается на экосфере и здоровье людей. Доля выбросов от АТ в общем объеме выбросов загрязняющих веществ в атмосферу составляет приблизительно 22 % [2]. Наряду с этим, обслуживание и ремонт автомобилей приводит к накоплению техногенных отходов, таких как отработанные масла, аккумуляторы, шины и другие материалы, создавая дополнительную экологическую нагрузку [3]. Одним из путей решения этих проблем является разработка и внедрение эффективных стратегий управления отходами системы автосервиса, а также ее модернизация с учетом экологических аспектов.

Система автосервиса представляет собой организованный комплекс взаимосвязанных элементов, процессов и ресурсов, предназначенных для обслуживания и ремонта автомобилей. Неотъемлемой частью ее ответственности перед обществом и природной средой в современном мире является сохранение экологического баланса. В этой связи, эффективное управление отходами системы автосервиса становится необходимостью и важным шагом в направлении сохранения экологического равновесия и минимизации негативного воздействия инфраструктуры АТ на ОС.

### **Материал и методы**

Цель статьи – исследовать проблему экологического воздействия отходов, образующихся в системе автосервиса, и предложить подход управления ими для уменьшения техногенного воздействия на экологию.

Инфраструктура автосервиса играет важную роль в жизненном цикле автомобиля, включая его предпродажную подготовку, техническое обслуживание, ремонт и утилизацию. Она влияет на эксплуатационные характеристики АТС, эффективность использования ресурсов и уровень вредных выбросов. Вместе с тем, современные автосервисные предприятия (АСП) сталкиваются с проблемой значительного образования отходов, что подчеркивает

необходимость поиска решений вопросов их экологической устойчивости и уменьшения экологического ущерба от их деятельности.

Согласно документа ООН «Повестка действий на период до 2030 года для устойчивого развития», который включает в себя 17 Целей устойчивого развития (ЦУР) и 169 подцелей, связанных с экономическим, социальным и экологическим развитием, ЦУР ставят перед странами и международным сообществом амбициозные задачи по улучшению качества жизни людей, сохранению природы и созданию устойчивой экономики.

### **Теория**

Устойчивая деятельность системы автосервиса представляет собой такую форму ведения бизнеса, при которой предприятия стремятся достичь сбалансированного сочетания экономического развития и заботы об экологии, сохраняя при этом свою конкурентоспособность в долгосрочной перспективе. Проблема обращения с отходами на сегодняшний день приобретает особую важность. Федеральные законы «Об отходах производства и потребления» и «Об охране окружающей среды» призваны регулировать и контролировать обращение с отходами, с целью обеспечения безопасности для ОС и здоровья людей. В результате деятельности АСП по оказанию услуг по техническому обслуживанию (ТО) и ремонту АТС образуется свыше 15 различных категорий производственных отходов, в том числе II-III классов опасности (таблица 1). Категории опасности установлены Федеральным законом от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». К опасным относятся отходы I-IV классов, тогда как отходы V класса считаются безопасными. Они классифицируются по уровню угрозы для ОС в соответствии с критериями, определяющими класс опасности для экосферы.

Таблица 1 – Состав некоторых отходов производства, образующихся в результате деятельности АСП

№	Класс опасности производственных отходов	Наименование производственных отходов
1	II и III	Масло моторное отработанное
2	II и III	Масло трансмиссионное отработанное
3	II и III	Масло гидравлическое отработанное
4	II, III и IV	Батареи аккумуляторные отработанные
5	I, II и III	Электролиты батарей аккумуляторных отработанные
6	II, III и IV	Электролит нейтрализованный отработанный
7	IV	Накладки колодок тормозных отработанные
8	IV	Лом черных металлов
9	IV	Шины с металлокордом
10	IV	Шины с тканевым кордом
11	III и IV	Фильтры, загрязненные нефтепродуктами

Основными источниками образования отходов системы автосервиса являются процессы плановых ТО, текущих (ТР) и капитальных (КР) ремонтов АТС. В рамках этих мероприятий выполняются работы по восстановлению работоспособности двигателей внутреннего сгорания (ДВС), деталей и узлов АТС, устранению неисправностей в агрегатах автомобилей. Кроме того, производятся контрольно-диагностические, регулировочные, крепежные и другие виды работ, в том числе замена различных автокомпонентов (масляные, воздушные, топливные фильтры, ремни и ролики, тормозные диски и колодки, аккумуляторы, шины и т.д.), отработанных смазочных материалов и технических жидкостей (масла, охлаждающие, тормозные жидкости и т.д.). Эти процессы ведут к образованию значительного объема техногенных отходов, требующих надлежащей обработки и утилизации. При этом, каждая категория отходов имеет свои уникальные характеристики и требует специфического подхода к управлению ими.

С марта 2022 года АСП обязаны соблюдать требования по обращению с отходами I-V классов опасности (АКБ, электролиты, минеральные и синтетические масла, электронное и оптическое оборудование, шины, покрышки и камеры, потерявшие потребительские свой-

ства) [4]. Индивидуальные предприниматели и юридические лица должны передавать такие отходы организациям, имеющим право на их обработку и утилизацию.

Ежегодно, в результате двукратной замены масла, выбывает 190 тыс. тонн отработанных масел, 15 тыс. тонн лома масляных фильтров. При этом средний интервал замены моторного масла в легковых автомобилях по данным аналитического агентства Автостат за 2022 г. (рис. 1) [5] составляет приблизительно 9,93 тыс. км. При замене охлаждающих жидкостей один раз в 5 лет выбывает 40 тыс. тонн антифризов. Таким образом, количество автомобилей и их активное использование вносят свой вклад в образование отходов и требуют управления ими с целью минимизации негативного воздействия на почву, водные и воздушные ресурсы.

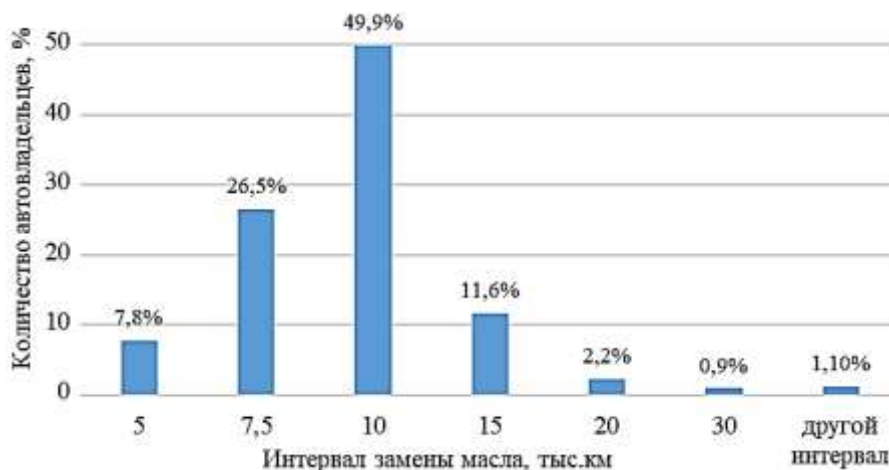


Рисунок 1 - Интервалы замены моторного масла

Отработанные масла, являясь сложной смесью химических веществ, содержат от 10 до 30 компонентов, среди которых тяжелые металлы (свинец, цинк), кальций, фосфор и полициклические органические соединения. Эти вещества обладают устойчивостью к разложению, оказывают токсическое воздействие на почву и водные ресурсы. Около 20 % всего антропогенного загрязнения воды обусловлено именно отработанными нефтяными маслами, тогда как последние составляют порядка 60% от общего объема загрязнения нефтепродуктами [6]. Это свидетельствует о серьезной экологической проблеме и необходимости принятия мер для снижения и предотвращения загрязнения экосистем отработанными нефтяными маслами.

Компонентный состав отработанного моторного масла (рис. 2) [7], говорит о том, что в процессе эксплуатации АТС в ДВС происходят процессы окисления масла, образуются отложения смол, асфальтенов, осадка и примесей в виде углеродистых частиц, фосфатов, карбонатов кальция и т.д. Эти компоненты негативно влияют не только на работу ДВС, увеличивая износ его деталей, но и на его токсичность.

В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 моторные масла относятся к малоопасным веществам, по степени воздействия на организм – IV класс опасности (вещества малоопасные), при образовании масляного аэрозоля – III класс опасности (вещества умеренно-опасные). При этом отработанные масла относятся к II-III классу, представляя собой умеренно-опасные или опасные вещества в зависимости от конкретных характеристик. Вместе с тем, анализ [8] показывает, что такие отходы сохраняют значительную долю веществ, присутствующих в товарном масле, что делает их потенциально пригодными для вторичного использования в производственных циклах.

Сбор отработанных масел, как и других техногенных отходов, представляет одну из основных трудностей при управлении отходами системы автосервиса. Это связано с несколькими факторами:

- отсутствие централизованной системы сбора отработанных масел;

- недостаточная информированность автовладельцев о важности квалифицированной утилизации масел;
- экономические и финансовые факторы - для многих объектов автосервиса сбор и переработка отходов после ТО, ТР и КР автомобилей может быть дорогостоящим процессом, что становится препятствием для активного участия в управлении отходами.

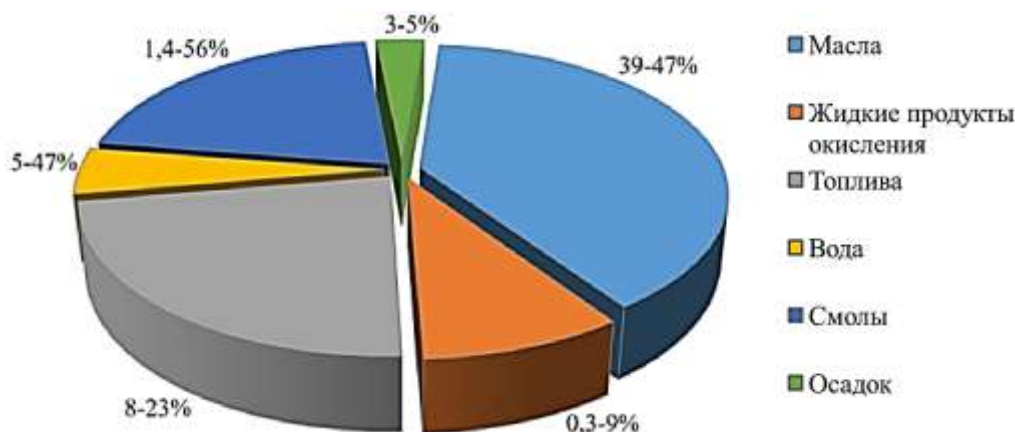


Рисунок 2 - Компонентный состав отработанного моторного масла

Согласно [6] сбор трансформаторных масел составляет 80-90 % от объема отходов, а моторных и промышленных – 20-40 %. При этом мировой сбор отработанных смазочных материалов составляет около 15 млн. тонн в год, 70-90 % которых сжигается в качестве топлива. В Европе сбор отработанных смазочных материалов составляет около 57 % (1,6 млн. тонн в год), а применение таких материалов в качестве топлива – на уровне 60 % [6]. Однако в большинстве стран мира до сих пор не действуют централизованные системы по сбору отработанных смазочных материалов для увеличения их повторного использования и сокращения негативного воздействия на ОС.

Данные Института шинной промышленности РФ указывают на ежегодный вывод из эксплуатации порядка 1 млн тонн изношенных шин [9], что с ростом автопарка приводит к увеличению накопления данного вида отходов.

Производители шин в большинстве случаев не раскрывают полный состав веществ и материалов, используемых в изготовлении шин, и часто сохраняют эту информацию, как коммерческую тайну. Современные автомобильные шины относятся к IV классу опасности и представляют собой сложные композитные изделия, в составе которых содержатся синтетические и натуральные каучуки, технический углерод (промышленная сажа), силикаты (кремниевая кислота), масла, смолы, сера, вулканизационные активаторы, текстиль, сталь, секретные компоненты [10-11]. Наиболее распространённые компоненты, используемые при изготовлении автомобильных шин, представлены на рисунке 3.

Шины содержат токсичные вещества и могут обладать канцерогенными свойствами. При этом классификация опасности отработанных шин (IV класс - малоопасные) может вводить в заблуждение, поскольку такие автокомпоненты могут представлять серьезную угрозу для ОС и здоровья людей [12]. Автомобильные шины устойчивы к биологическому разложению и могут загрязнять природу на протяжении более 100 лет. Однако, несмотря на это, шины содержат ценные материалы, такие как каучук, металлический и текстильный корд, которые сохраняют свои свойства и могут быть использованы повторно. Изношенные шины могут быть переработаны и использованы в качестве топлива, так как они состоят преимущественно из продуктов переработки нефти [13]. Это позволяет не только повторно использовать материалы, но и сократить объем образующихся отходов.

Значимым экологически и экономически обоснованным подходом к управлению отходами является переработка стартерных аккумуляторных батарей (АКБ). Стандартный автомобильный аккумулятор содержит электролит и свинец, представляющий собой металл с

канцерогенными свойствами, а его соединения - политропные яды – являются потенциально опасными веществами [13]. Согласно «Федеральному классификационному каталогу отходов», отработанная серная аккумуляторная кислота определена как отход II класса опасности (высокоопасные вещества). Этот вид отходов характеризуется токсичными свойствами и согласно его паспорту отхода, компонентный состав отработанной серной кислоты включает 36,3 % сульфатов, 5,6 % свинца и 58,1 % воды [14]. Свинец и его соединения известны своим токсическим воздействием на живые организмы и ОС [15].

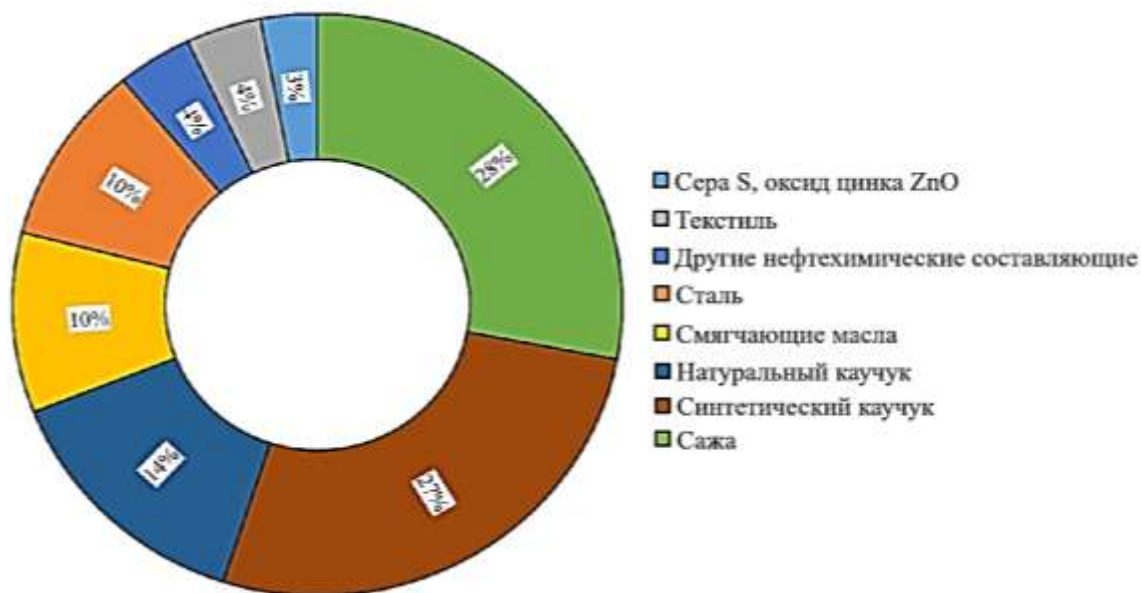


Рисунок 3 – Основные компоненты автомобильных шин

В рамках нацпроекта «Экология» федерального проекта «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности», цель которого состоит в улучшении экологической ситуации и обеспечении стандартов утилизации, оператором по утилизации таких отходов назначено ФГУП «ФЭО». Этот шаг имеет ключевое значение для эффективного управления отходами, особенно в контексте их высокой опасности и необходимости специализированных подходов к их обработке.

По данным Автостата [16], в 2021 году потребность вторичного рынка в свинцово-кислотных АКБ составила 11,4 млн штук, из которых 8,2 млн штук (более 72 %) пришлось на легковые АТС. Это соответствует примерно 80 тыс. тонн свинца, более 60 тыс. тонн которого попадает в водоемы и почву. Несанкционированное обращение с такими отходами неизбежно приводит к загрязнению ОС - химические вещества, высвобождающиеся из АКБ, могут оставаться в природе длительное время, что ведет к кумулятивному воздействию и долгосрочным экологическим проблемам. Наличие цветных металлов в автомобильных АКБ должно стимулировать их переработку, ведь она позволяет извлечь большое количество вторичного сырья. Вместе с тем, наличие специализированного оборудования в АСП позволяет использовать повторно нейтрализованный электролит.

Заслуживает пристального внимания инновационный подход к эксплуатации и последующей утилизации тяговых литий-ионных АКБ, которые широко применяются в гибридных автомобилях и электрокарах. Программа Battery as a Service (BaaS) - «Батарея как услуга» от компании NIO предоставляет покупателям электрокаров возможность аренды батареи посредством подписки вместо ее приобретения [17]. При этом, компания, предоставляющая услугу замены батарей, создает специальные обменные станции, где клиенты могут заменять разряженные батареи на заряженные. Стремительное удешевление базовых компонентов литий-ионных аккумуляторов, вызванное замедлением (в 2 раза) спроса на электромобили (главного потребителя лития) в 2023 г., из-за высоких процентных ставок по кредитам, при-

вело к резкому понижению стоимости основных сырьевых материалов (карбоната лития и сподумена) для производства лития на 80-84 % с начала 2024 года по сравнению с 2021-2022 гг. [18]. Такая динамика цен объясняется тем, что ускоренное производство лития в 2022 году привело к переходу рынка от дефицита к избытку предложения в 2023 году. При этом утилизация литий-ионных АКБ становится все более важной и актуальной.

На российском рынке АКБ основное их количество приходится на зарубежную продукцию. Согласно данным за 2017-2021 годы, доля зарубежных батарей составила около 93,8 % от общего объема продаж [19]. По оценкам BusinesStat, за последние пять лет импорт АКБ в РФ увеличился на 31,3 %, достигнув отметки в 30,0 млн штук. Наиболее распространены литий-ионные батареи (в среднем 44,0 % от общего объема импорта) и гибридно-никелевые батареи (40,3 %) [19]. Вместе с тем, емкость первичного рынка автомобильных АКБ в стране в 2022 году составила 674 тыс. единиц [20]. При этом почти 80 % этой емкости принадлежит российским производителям АКБ, а оставшиеся 20 % приходятся на иностранные компании. Таким образом, несмотря на высокую зависимость российского рынка от импортных поставок АКБ, имеется потенциал для развития отечественного производства и увеличения доли российских производителей на рынке.

### ***Результаты и обсуждение***

Оценка экологического воздействия потока отходов указывает на потенциальные риски для ОС (загрязнение почвы, водных ресурсов, воздушного бассейна), что подчеркивает важность разработки и внедрения экологически устойчивых практик в системе автосервиса.

Учитывая тенденцию, при которой отрасль производства автомобилей и автокомпонентов имеет развитую инфраструктуру, а индустрия их утилизации находится на начальной стадии развития, необходимо принять во внимание следующие аспекты в управлении отходами:

- недостаточное развитие и внедрение эффективных систем управления отходами;
- отсутствие четкой стратегии по сбору, переработке и утилизации различных типов отходов;
- низкий уровень информированности автовладельцев и персонала автосервисов о правилах и методах обращения с отходами;
- финансовые и организационные проблемы, связанные с обеспечением утилизации и переработки отходов.

Подход управления потоком отходов системы автосервиса представляет собой принципы, которые используются для организации и эффективного управления отходами, генерируемыми в процессе обслуживания и ремонта автомобилей. В общем виде схема предлагаемого подхода представлена на рисунке 4. В целом, эти этапы будут способствовать созданию более устойчивой и экологически ответственной деятельности в автосервисном секторе, что в свою очередь приведет к улучшению экологической обстановки и снижению негативного воздействия на ОС.

### ***Выводы***

Основанный на анализе экологических рисков и угроз, предлагаемый подход управления потоком отходов системы автосервиса направлен на создание экологически ответственного пространства в ее инфраструктуре. Он может быть использован для разработки стратегий управления отходами и внедрения экологически эффективных практик на АСП. Обеспечивая эко-развитие системы автосервиса, предлагаемый подход должен соответствовать законодательству и нормативным требованиям в области охраны ОС и управления отходами, базироваться на принципах экологической ответственности по соблюдению норм, способствовать сохранению ресурсов и снижению негативного воздействия на ОС. При этом следует отдавать предпочтение предотвращению или минимизации образования отходов, а не их последующей утилизации или обработке, обеспечивая прозрачность в процессе управления отходами.



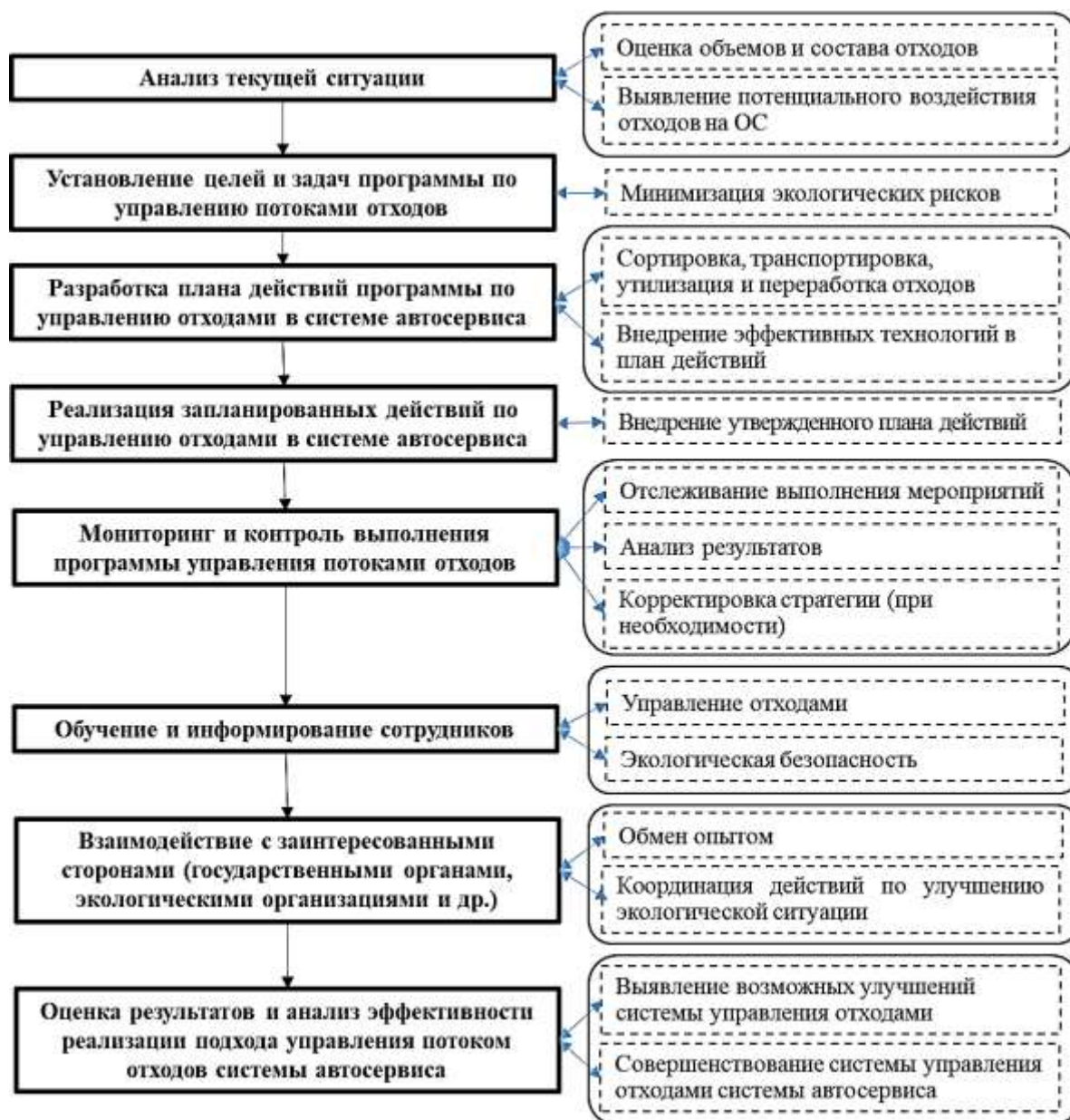


Рисунок 4 – Схема подхода к управлению потоком отходов системы автосервиса

Внедрение эффективных методов управления автомобильными отходами позволит сократить потребление ресурсов, уменьшить необходимость в полигонах для отходов. Вместе с тем, эффективное управление отходами нуждается не только в технических решениях, но и совместных усилиях со стороны государства, бизнеса и общества для создания эффективной эко-инфраструктуры автосервиса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сытник Е.С., Черный А.И. Автомобильный транспорт как основной потребитель топлив нефтяного происхождения и источник вредных выбросов в окружающую среду // Актуальные проблемы науки и техники. 2023: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет. 2023. С. 600-602. EDN ISEXCL.
2. Основные показатели окружающей среды. Статистический бюллетень / Росстат [Электронный ресурс]. Москва, 2023. 105 с. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr\\_bul\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2023.pdf).
3. Сытник Е.С., Сафонов О.В., Лактионов Н.М. Разработка инициативы трансформации системы автосервиса в условиях экономико-политической конъюнктуры // Вести Автомобильно-дорожного института. 2024. №1(48). С. 60-67. EDN DQFCVM.
4. Аккумуляторы, оргтехника, синтетические и минеральные отходы, шины подлежат обработке и утили-



- лизации [Электронный ресурс]. Росприроднадзор. 2022. URL: <https://rpn.gov.ru/regions/78/news/akkumulyatory-orgtehnika-sinteticheskie-i-mineralnye-otkhody-shiny-podlezhat-obrabotke-i-utilizatsii-5783640.html>
5. Лобода В. АВТОСТАТ ОМНИБУС: как часто автовладельцы меняют моторное масло? [Электронный ресурс] / Автостат. 2023. URL: <https://www.autostat.ru/infographics/55449/>.
6. Сафаров Ж.А.У., Хайитов Р.Р. Исследование физико-химических свойств и химического состава отработанных моторных масел // Universum: технические науки. 2021. №6-4(87). С. 14-19. DOI 10.32743/UniTech.2021.87.6.11898. EDN SGBGVZ.
7. Дьяков М.С., Солдатенко Н.А., Глушанкова И.С. Обоснование выбора ресурсосберегающих технологий утилизации отработанных масел // Экология и промышленность России. 2011. №5. С. 16-19. EDN NWDSRV.
8. Каменчук Я.А. Отработанные нефтяные масла и их регенерация: на примере трансформаторных и промышленных масел: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.13.Томск, 2007. 24 с.
9. Смычагин Е.О., Шутов Р.И. Анализ, оценка количества и способы утилизации отработанных автомобильных покрышек // Научные труды КубГТУ. 2019. №3. С. 960-966. EDN KEAJGX.
10. Производство шин: секреты шинного производства MICHELIN [Электронный ресурс] / Industrialmarket. 2019. URL: <https://industrialmarket.ru/ru/catalog/articles/7391/>.
11. Технология производства автомобильных шин [Электронный ресурс] / Zipshina. URL: [https://zipshina.ru/tehnicheskaya\\_informaciya/o\\_shinah/tehnologiya\\_proizvodstva\\_avtomobilnyh\\_shin/](https://zipshina.ru/tehnicheskaya_informaciya/o_shinah/tehnologiya_proizvodstva_avtomobilnyh_shin/).
12. Упоров Д.А., Румянцева А.В. Экологические аспекты переработки автомобильных шин [Электронный ресурс] / Система управления экологической безопасностью: сборник трудов XII заочной международной научно-практической конференции. Екатеринбург: УрФУ. 2018. С. 195-201. URL: <http://elar.urfu.ru/handle/10995/74200>.
13. Чем опасны старые аккумуляторы [Электронный ресурс] / Quto. 2010. URL: <https://quto.ru/journal/articles/chem-opasny-starye-akkumulyatory.htm>.
14. Технологический регламент «Технология нейтрализации кислоты аккумуляторной серной отработанной» TP-002-18 [Электронный ресурс] / Лениногорск. 2018. 19 с. URL: [https://leninogorsk.tatarstan.ru/file/leninogorsk/File/TP-002-18%20на%20кислоту\\_8.pdf](https://leninogorsk.tatarstan.ru/file/leninogorsk/File/TP-002-18%20на%20кислоту_8.pdf).
15. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Карапетян Т.А., Доршакова Н.В. Влияние свинца на живые организмы // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81. №2. С. 147-160. DOI 10.31857/S0044459620020086. EDN DTCVEK.
16. Лобода В. Емкость вторичного рынка аккумуляторов в России - более 11 млн единиц [Электронный ресурс] / Автостат. 2021. URL: <https://www.autostat.ru/news/48158/>.
17. Замена батарей в электромобилях [Электронный ресурс] / Abiznews. 2022. URL: <https://abiznews.net/novosti/zamena-batarey-v-elektromobilyah/>.
18. Цены на литий за 2023 год рухнули в 6 раз [Электронный ресурс] / Финам.Ру. 2024. URL: <https://www.finam.ru/publications/item/tseny-na-litii-za-2023-god-rukhnuli-v-6-raz-20240229-1820/>.
19. Анализ рынка свинцовых аккумуляторов в России в 2019-2023 гг., прогноз на 2024-2028 гг.: Демо-версия отчета [Электронный ресурс] / BusinesStat. URL: [https://businesstat.ru/images/demo/rechargeable\\_batteries\\_russia\\_demo\\_businesstat.pdf](https://businesstat.ru/images/demo/rechargeable_batteries_russia_demo_businesstat.pdf).
20. Лавренёв Д. На предприятия автопрома в 2022 году было поставлено порядка 700 тысяч аккумуляторов [Электронный ресурс] / Автостат. 2023. URL: <https://www.autostat.ru/infographics/54563/>.

**Сытник Елена Сергеевна**

Автомобильно-дорожный институт, филиал ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»

Адрес: 284646, Россия, ДНР, г. Горловка, ул. Кирова, д. 51

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

E-mail: [ess007@bk.ru](mailto:ess007@bk.ru)

E.S. SYTNIK

**ANALYSIS OF THE SPECIFICS OF ENVIRONMENTAL RISKS  
AND THREATS IN MANAGING TECHNOGENIC WASTE WITHIN  
THE AUTOMOTIVE SERVICE SYSTEM**

***Abstract.** The increase in emissions of pollutants and the accumulation of waste from the operation of vehicles lead to a number of environmental problems. This article discusses various types of man-made waste (used oils, tires and batteries) and their potential impact on the environment. The need to develop and implement environmentally sustainable practices at car service enterprises to reduce the anthropogenic impact on the environment is emphasized. An initiative has been proposed to manage the flows of man-made waste in the car service system with a focus on preventing envi-*

*ronmental risks and threats. Attention is focused on the need for an integrated approach that will ensure the sustainable operation of car service facilities in the future, reducing the negative impact on the environment.*

**Keywords:** *automotive service, technogenic waste, used oils, worn-out tires, batteries, ecology, waste management*

## BIBLIOGRAPHY

1. Sytnik E.S., Chernyy A.I. Avtomobil'nyy transport kak osnovnoy potrebitel' topliv neftyanogo proiskhozhdeniya i istochnik vrednykh vybrosov v okruzhayushchuyu sredu // Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. 2023: Materialy Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. Rostov-na-Donu: Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet. 2023. S. 600-602. EDN ISEXCL.
2. Osnovnye pokazateli okruzhayushchey sredy. Statisticheskyy byulleten' / Rosstat [Elektronnyy resurs]. Moskva, 2023. 105 s. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr\\_bul\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2023.pdf).
3. Sytnik E.S., Safonov O.V., Laktionov N.M. Razrabotka initsiativy transformatsii sistemy avtoservisa v usloviyakh ekonomiko-politicheskoy kon'yunktury // Vesti Avtomobil'no-dorozhnogo instituta. 2024. №1(48). S. 60-67. EDN DQFCVM.
4. Akkumulyatory, orgtehnika, sinteticheskie i mineral'nye otkhody, shiny podlezhaz obrabotke i utilizatsii [Elektronnyy resurs]. Rosprirodnadzor. 2022. URL: <https://rpn.gov.ru/regions/78/news/akkumulyatory-orgtehnika-sinteticheskie-i-mineralnye-otkhody-shiny-podlezhat-obrabotke-i-utilizatsii-5783640.html>
5. Loboda V. AVTOSTAT OMNIBUS: kak chasto avtovladel'tsy menyayut motornoe maslo? [Elektronnyy resurs] / Avtostat. 2023. URL: <https://www.autostat.ru/infographics/55449/>.
6. Safarov ZH.A.U., Hayitov R.R. Issledovanie fiziko-khimicheskikh svoystv i khimicheskogo sostava otrabotannykh motornykh masel // Universum: tekhnicheskie nauki. 2021. №6-4(87). S. 14-19. DOI 10.32743/UniTech.2021.87.6.11898. EDN SGBGVZ.
7. D'yakov M.S., Soldatenko N.A., Glushankova I.S. Obosnovanie vybora resursosbergayushchikh tekhnologiy utilizatsii otrabotannykh masel // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2011. №5. S. 16-19. EDN NWDSRV.
8. Kamenchuk YA.A. Otrabotannye neftyanye masla i ikh regeneratsiya: na primere transformatornykh i industrial'nykh masel: avtoref. dis. ... kand. khim. nauk: 02.00.13.Tomsk, 2007. 24 s.
9. Smychagin E.O., Shutov R.I. Analiz, otsenka kolichestva i sposoby utilizatsii otrabotannykh avtomobil'nykh pokryshek // Nauchnye trudy KubGTU. 2019. №3. S. 960-966. EDN KEAJGX.
10. Proizvodstvo shin: sekrety shinnogo proizvodstva MICHELIN [Elektronnyy resurs] / Industrialmarket. 2019. URL: <https://industrialmarket.ru/ru/catalog/articles/7391/>.
11. Tekhnologiya proizvodstva avtomobil'nykh shin [Elektronnyy resurs] / Zipshina. URL: [https://zipshina.ru/tehnologicheskaya\\_informaciya/o\\_shinah/tehnologiya\\_proizvodstva\\_avtomobilnyh\\_shin/](https://zipshina.ru/tehnologicheskaya_informaciya/o_shinah/tehnologiya_proizvodstva_avtomobilnyh_shin/).
12. Uporov D.A., Rumyantseva A.V. Ekologicheskie aspekty pererabotki avtomobil'nykh shin [Elektronnyy resurs] / Sistema upravleniya ekologicheskoy bezopasnost'yu: sbornik trudov XII zaochnoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ekaterinburg: UrFU. 2018. S. 195-201. URL: <http://elar.urfu.ru/handle/10995/74200>.
13. Chem opasny starye akkumulyatory [Elektronnyy resurs] / Quto. 2010. URL: <https://quto.ru/journal/articles/chem-opasny-starye-akkumulyatory.htm>.
14. Tekhnologicheskyy reglament «Tekhnologiya neytralizatsii kisloty akkumulyatornoy sernoy otrabotannoy» TR-002-18 [Elektronnyy resurs] / Leniogorsk. 2018. 19 s. URL: [https://leniogorsk.tatarstan.ru/file/leniogorsk/File/TR-002-18%20na%20kislotu\\_8.pdf](https://leniogorsk.tatarstan.ru/file/leniogorsk/File/TR-002-18%20na%20kislotu_8.pdf).
15. Titov A.F., Kaznina N.M., Karapetyan T.A., Dorshakova N.V. Vliyanie svintsa na zhivye organizmy // ZHurnal obshchey biologii. 2020. T. 81. №2. S. 147-160. DOI 10.31857/S0044459620020086. EDN DTCVEK.
16. Loboda V. Emkost' vtorichnogo rynka akkumulyatorov v Rossii - bolee 11 mln edinits [Elektronnyy resurs] / Avtostat. 2021. URL: <https://www.autostat.ru/news/48158/>.
17. Zamena batarey v elektromobilyakh [Elektronnyy resurs] / Abiznews. 2022. URL: <https://abiznews.net/novosti/zamena-batarey-v-elektromobilyah/>.
18. Tseny na litii za 2023 god rukhnuli v 6 raz [Elektronnyy resurs] / Finam.Ru. 2024. URL: <https://www.finam.ru/publications/item/tseny-na-litii-za-2023-god-rukhnuli-v-6-raz-20240229-1820/>.
19. Analiz rynka svintsovykh akkumulyatorov v Rossii v 2019-2023 gg., prognoz na 2024-2028 gg.: Demoversiya otcheta [Elektronnyy resurs] / BusinesStat. URL: [https://businesstat.ru/images/demo/rechargeable\\_batteries\\_russia\\_demo\\_businesstat.pdf](https://businesstat.ru/images/demo/rechargeable_batteries_russia_demo_businesstat.pdf).
20. Lavreniov D. Na predpriyatiya avtoproma v 2022 godu bylo postavleno poryadka 700 tysyach akkumulyatorov [Elektronnyy resurs] / Avtostat. 2023. URL <https://www.autostat.ru/infographics/54563/>.

**Sytnik Elena Sergeevna**

Automobile and Road Institute, Branch of FSBEI HE «Donetsk National Technical University»

Address: 284646, Russia, DNR, Gorlovka, Kirova str., 51

Candidate of Technical Sciences

E-mail: [ess007@bk.ru](mailto:ess007@bk.ru)

Научная статья

УДК 625.862

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-65-72

Н.А. ЗАГОРОДНИЙ, М.В. ГОЛОВКИН

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ НА ПРОЦЕСС ДРОБЛЕНИЯ ЩЕБНЯ

***Аннотация.** В данной статье проводится исследование воздействия технологических параметров конусной дробилки на процесс дробления щебня. В статье анализируются существующие изобретения в области конструкции конусной дробилки, их преимущества и недостатки. Представлена усовершенствованная конструкция эксцентрикового узла и принцип ее устройства. Проведен эксперимент, в ходе которого установлена зависимость изменения производительности конусной дробилки от ширины разгрузочной щели и частоты качания конуса. По разработанной конструкции эксцентрикового узла произведен математический расчет минимальной частоты качания конуса, при которой будет обеспечиваться максимальная эффективность дробления, а также расчет производительности и потребляемой мощности конусной дробилки. Выводы данного исследования подтверждают целесообразность использования данной конструкции конусной дробилки на предприятиях.*

***Ключевые слова:** конусная дробилка, производительность конусной дробилки, эксцентриковый узел, эффективность дробления*

### **Введение**

Процесс дробления сырья важен во многих промышленных отраслях. В настоящий момент ведутся разработки по усовершенствованию процесса дробления материала с помощью конусной дробилки. Как известно, конусные дробилки классифицируются по технологическому назначению: мелкого (КМД), среднего (КСД) и крупного (ККД) дробления. Конусные дробилки также разделяют по типу привода: с механическим и инерционным. К конусным дробилкам на промышленных предприятиях предъявляются высокие требования: надежность, долговечность, высокая производительность, низкое энергопотребление, а также соответствующее современным стандартам качество готового продукта [1-3].

Цель исследования заключается в оптимизации процесса дробления конусной дробилкой с помощью определения воздействия технологических параметров конусной дробилки на процесс дробления.

Проблема исследования заключается в низкой эффективности работы конусных дробилок на производстве.

Для того, чтобы повысить эффективность работы конусной дробилки необходимо проанализировать существующие решения в данной области и разработать на основе их новую конструкцию эксцентрикового узла [4].

Известна конусная дробилка, в которой эксцентрик установлен свободно в радиальном направлении относительно подшипниковой втулки, выполненная в виде конструкции привода эксцентрика (рис. 1) [5]. Агрегат содержит приводной эксцентрик 7, который свободно размещается в цилиндрической подшипниковой втулке 8. Втулка 8 контактирует с эксцентриком 7. Для того, чтобы эксцентрик свободно перемещался в радиальном направлении минимальный зазор 19 между ними устанавливается больше, чем допустимый зазор в разгрузочной щели 20 между конусами 2 и 4. С помощью вкладыша происходит регулировка этого зазора. Особенность данной конструкции заключается в том, что цилиндрическая подшипниковая втулка выполнена в виде промежуточной опоры эксцентрика и снабжена устройством для регулировки величины радиальной амплитуды эксцентрика и внутреннего конуса.

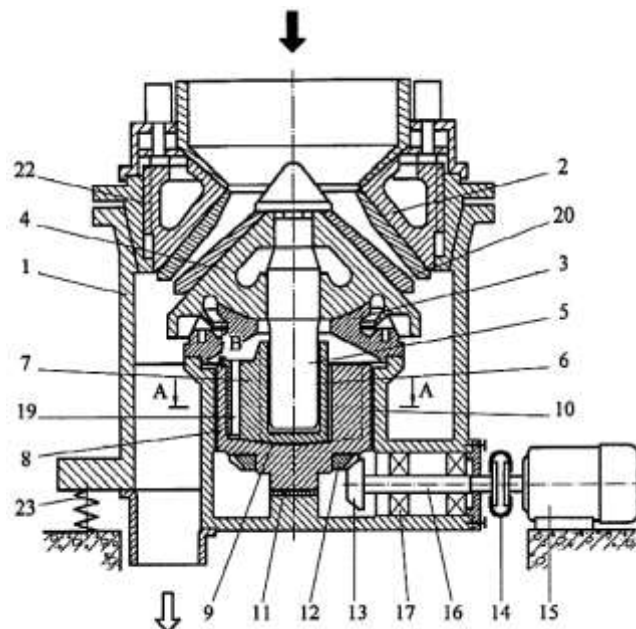


Рисунок 1 - Конусная дробилка (Патент № RU91007U1)

У данной конструкции есть недостатки: невысокая долговечность, значительные потери мощности. В процессе работы происходит нагрев и износ трущихся элементов из-за большой площади радиальной подшипниковой втулки. Регулировка максимального радиального отклонения происходит за счет регулировочного вкладыша, который установлен внутри подшипниковой втулки. Износ данного вкладыша потребует разборки всей дробилки для замены, что негативно скажется на линии производства.

Еще одним изобретением является конусная инерционная дробилка с дебалансным вибратором (рис. 2) [6].

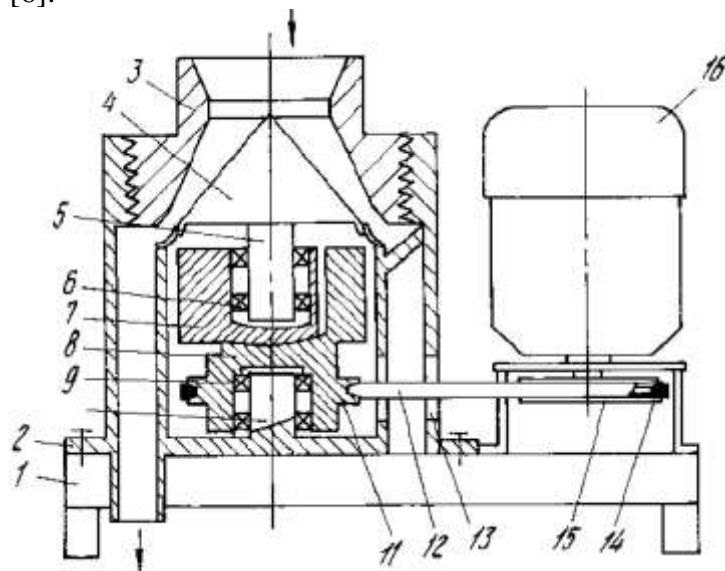


Рисунок 2 - Конусная дробилка (Патент № RU2097132C1)

В данном агрегате используется конструкция эксцентрикового узла в виде пары дебаланса и противовдебаланса. В данной конструкции установлен конус 4 с валом 5. На подшипник 6 устанавливается ведомый дебалансный вибратор 7. Исходный материал засыпается в камеру дробления и попадает между внутренним 4 и наружным 3 конусами. От электродвигателя 16 крутящий момент передается на ведущий дебаланс, который при вращении передает крутящий момент на ведомый дебалансный вибратор 7. За счет центробежной силы внутренний конус 4 начинает выполнять гирационные колебания. При сближении конусов про-

исходит процесс дробления материала, который высыпается через разгрузочную щель.

Недостатком данного изобретения является повышенный расход электроэнергии, за счет того, что дробящее усилие зависит от частоты вращения дебаланса. Процесс дробления в данном случае осуществляется на максимальных оборотах.

Исходя из этого можно сделать вывод о том, что существующие конструкции конусных дробилок нуждаются в совершенствовании, чтобы обеспечить стабильную работу предприятия и снизить расходы на запчасти, электричество и простой оборудования.

На базе лаборатории БГТУ им. В.Г. Шухова был разработан запатентованный образец конусной дробилки с усовершенствованной конструкцией эксцентрикового узла, позволяющий выполнять процесс дробления материала при невысоких скоростях вращения приводного вала, что обеспечивает снижение расхода потребляемой энергии (рис. 3) [7].

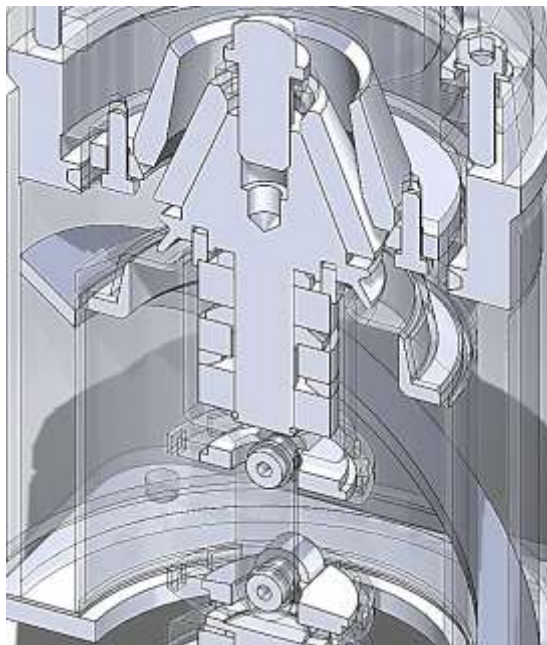


Рисунок 3 - Модель конусной дробилки с усовершенствованной конструкцией эксцентрикового узла

### **Материал и методы**

Для исследования воздействия технологических параметров конусной дробилки на процесс дробления была использована разработанная конструкция эксцентрикового узла (рис. 4).

Конусная дробилка состоит из станины 1, на которой через прокладку установлен внешний корпус 2. Во внешнем корпусе 2 установлена направляющая деталь 3. В направляющей детали 3 расположен внешний конус 4 с загрузочной воронкой 5, имеющий внутреннюю футеровку 6. Во внутренней полости внешнего конуса 4 размещен подвижный внутренний конус 7, имеющий коническую и цилиндрическую части. На конической части подвижного внутреннего конуса 7 жестко закреплена наружная футеровка 8. При этом пространство между внутренней футеровкой 6 внешнего конуса 4 и наружной футеровкой 8 подвижного внутреннего конуса 7 образует камеру дробления. Цилиндрическая часть подвижного внутреннего конуса 7 размещена во вращающейся вертикальной стойке 9 через подшипниковую обойму 10. Вращающаяся вертикальная стойка 9 связана с верхним регулировочным диском 11 и нижним регулировочным диском 12 за счет верхнего горизонтального пальца 13 и нижнего горизонтального пальца 14, проходящих в соответствующих отверстиях вращающейся вертикальной стойки 9 и выполняющих роль шарнира. Сквозные вертикальные отверстия верхнего 11 и нижнего 12 регулировочных дисков выполнены с эксцентриситетом относительно центральных осей этих дисков. Верхний 11 и нижний 12 регулировочные диски установлены в верхнем 15 и нижнем 16 опорных дисков с эксцентриситетом относительно центральных осей этих дисков соответственно и имеют возможность поворота.

Верхний 15 и нижний 16 опорные диски имеют радиальные пазы, в которые установлен цилиндрический синхронизатор 17, связывающий верхний 15 и нижний 16 опорные диски. При этом цилиндрический синхронизатор 17 обеспечивает передачу вращения от нижнего опорного диска 16 к верхнему опорному диску 15. Нижняя плоскость опорного диска 16 сопряжена с приводным валом 18 посредством зубчатых элементов. Верхний 15 и нижний 16 опорные диски находятся в контакте с равномерно расположенными вращающимися опорными роликами 19, размещенными на осях в ребрах жесткости 20. Эта часть конструкции обеспечивает возможность кругового вращения опорных дисков 15 и 16 за счет контакта с вращающимися роликами 19.

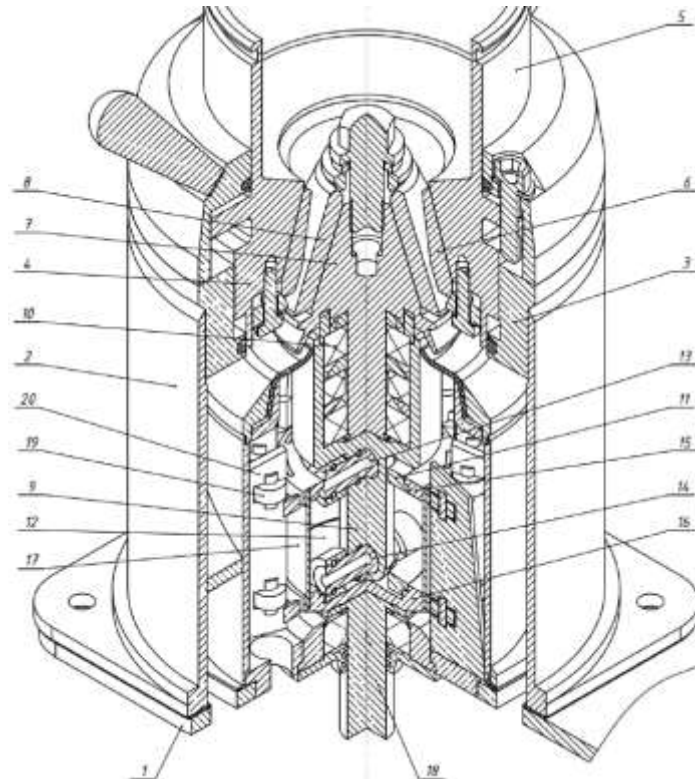


Рисунок 4 - Сборочный чертеж дробилки с регулируемым эксцентриковым узлом

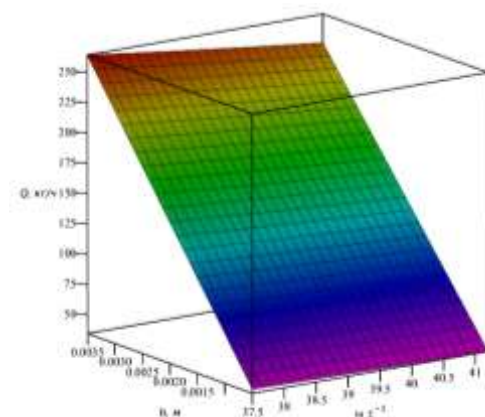


Рисунок 5 - Графическая зависимость изменения производительности конусной дробилки  $Q$  от ширины разгрузочной щели  $b$  и частоты качания конуса  $\omega$

### Теория

Рассмотрим действие сил на кусок материала, находящийся в камере дробления, который скользит по поверхности зоны параллельности с некоторым ускорением (рис. 6) [8].

Для проведения эксперимента были определены основные факторы, влияющие на производительность конусной дробилки: ширина разгрузочной щели ( $b$ ), частота качания конуса ( $\omega$ ). В качестве материала для проведения эксперимента был выбран щебень класса крупности  $-5+2$  мм.

В ходе эксперимента было установлено, что с уменьшением частоты качания подвижного конуса и увеличением ширины разгрузочной щели, производительность конусной дробилки увеличивается (рис. 5).

Исходя из этого, необходимо определить минимальное число оборотов подвижного конуса, при котором будет обеспечиваться максимальная эффективность дробления.



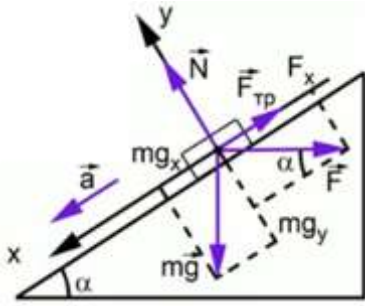


Рисунок 6 - Расчетная схема действия сил, приложенных к материалу в конусной дробилке

На данный материал действует сила реакции опоры  $\vec{N}$ , которая прижимает его к плоскости. Также на него действует сила тяжести  $mg$ , и сила трения  $\vec{F}_{тр}$ , направленная в противоположную сторону. Необходимо спроецировать уравнение на координатные оси X и Y и использовать второй закон Ньютона [9].

$$mg_x = mg \cdot \sin \alpha = \frac{mg}{2}; \quad (1)$$

$$F_x = F \cdot \cos \alpha = \frac{mg}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}; \quad (2)$$

$$mg_x \geq F_c$$

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} + \vec{F} = m\vec{a}. \quad (3)$$

Проекция по оси OX:  $mg \cdot \sin \alpha - \mu N - F \cdot \cos \alpha = ma$ .

Проекция по оси OY:  $-mg \cdot \cos \alpha + N - F \cdot \sin \alpha = 0$ .

$$N = mg \cdot \cos \alpha + \frac{mg}{2} \sin \alpha$$

$$mg \cdot \sin \alpha - \mu \left( mg \cdot \cos \alpha + \frac{mg}{2} \sin \alpha \right) - \frac{mg}{2} \cos \alpha = ma; \quad (4)$$

$$a = g \left( \sin \alpha - \frac{\cos \alpha}{2} - \mu \cos \alpha - \frac{\mu \sin \alpha}{2} \right). \quad (5)$$

где  $a$  - ускорение куска материала, движущегося по поверхности конуса, м/с<sup>2</sup>;

$\alpha$  - угол наклона поверхности конуса, °;

$m$  - масса куска материала; г;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\mu$  - коэффициент трения материала о поверхность.

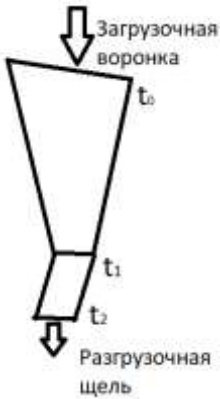


Рисунок 7- Схема камеры дробления конусной дробилки

Выражение 5 показывает с каким ускорением будет двигаться кусок материала по поверхности в конусной дробилке.

Зная ускорение, можно определить минимальное число оборотов, при которых будет обеспечивается наибольшая эффективность дробления. На рисунке 7 представлена упрощенная схема камеры дробления [10, 11].

На рисунке 7 изображена схема камеры дробления. Материал, загружаемый через загрузочную воронку, засыпается с начальной скоростью  $V(t_0)$  и просыпается далее в камеру дробления (зона параллельности). На рис.7 зона параллельности обозначена отрезком между  $t_1$  и  $t_2$ .

Скорость  $V(t_1)$  из условия, что  $V = V_0 + at$ , так как  $V_0 = 0$ , в момент попадания материала в точку  $t_1$  его скорость будет равна:

$$V(t_1) = at_1, \quad (6)$$

Материал пройдет зону параллельности за время:

$$\Delta t = t_2 - t_1, \quad (7)$$

Из уравнения движения необходимо найти  $t_1$ , при условии, что  $V_0 = 0$ .

$$S = V_0 t + \frac{at^2}{2} = \frac{at^2}{2}; \quad (8)$$

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}}; \quad (9)$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2\Delta L}{a}}, \quad (10)$$

где  $L$  - длина зоны параллельности, м.

Тогда скорость прохождения материала в точке ( $t_1$ ) будет равна:

$$V(t_1) = a \cdot \sqrt{\frac{2\Delta L}{a}}, \quad (11)$$

Подставив в формулу 11 вместо  $a$  выражение 5, получим конечную формулу расчета скорости движения материала в точке ( $t_1$ ):



$$V(t_1) = g \left( \sin \alpha - \frac{\cos \alpha}{2} - \mu \cos \alpha - \frac{\mu \sin \alpha}{2} \right) \sqrt{\frac{2\Delta L}{\left( \sin \alpha - \frac{\cos \alpha}{2} - \mu \cos \alpha - \frac{\mu \sin \alpha}{2} \right)}} = a \cdot \sqrt{\frac{2\Delta L}{a}}, \quad (12)$$

Формула для расчета минимальных оборотов будет выглядеть следующим образом:

$$n_{min} = \frac{1}{\Delta t} = \frac{2a}{-2V_1 + \sqrt{4V_1^2 - 8La}}. \quad (13)$$

В усовершенствованной конусной дробилке длина зоны параллельности ( $L$ ) равна 18,7 мм,  $\Delta L = 24$  мм, угол наклона образующей конуса ( $a$ ) равен  $67^\circ$ , коэффициент трения щебня ( $\mu$ ) о поверхность металла равен 0,16 [12, 13].

По формуле 5 материал в камере дробления двигался с ускорением:

$$a = 9,8 \left( \sin 67^\circ - \frac{\cos 67^\circ}{2} - 0,16 \cdot \cos 67^\circ - \frac{0,16 \cdot \sin 67^\circ}{2} \right) = 5,77 \text{ м/с}^2.$$

Скорость материала в точке ( $t_1$ ) равна:

$$5,77 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{5,77}} = 0,53 \text{ м/с}.$$

Тогда минимальные обороты, обеспечивающие максимальную эффективность дробления будут равны:

$$n_{min} = \frac{2 \cdot 5,77}{2 \cdot 0,53 + \sqrt{4 \cdot 0,53^2 - 8 \cdot 18,7 \cdot 5,77 \cdot 10^{-3}}} = 7,35 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 441 \text{ об/мин}.$$

По формуле 14 необходимо рассчитать объемную производительность конусной дробилки с усовершенствованной конструкцией эксцентрикового узла [14,15].

$$W = 60\pi n b L D, \quad (14)$$

$$W = 60 \cdot 3,14 \cdot 441 \cdot 0,0035 \cdot 0,0187 \cdot 0,060 = 0,33 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Потребляемая мощность конусной дробилки необходимо рассчитать по формуле 15:

$$P = 0,21 n D^2, \quad (15)$$

$$P = 0,21 \cdot 441 \cdot 0,060^2 = 0,318 \text{ кВт}.$$

### Результаты

В ходе проведения эксперимента было установлено, что разработанная конструкция эксцентрикового узла конусной дробилки является оптимальной по сравнению со своими аналогами, так как при частоте вращения конуса 441 об/мин потребляемая мощность конусной дробилки снизилась с заводских показателей, равных 0,55 кВт до 0,32 кВт, при этом повысилась производительность до 0,33 м<sup>3</sup>/ч при максимальной ширине разгрузочной щели. Данный результат говорит о том, усовершенствованную конструкцию эксцентрикового узла целесообразно использовать на производстве.

### Обсуждение

При проведении исследования было установлено, что конусная дробилка с усовершенствованной конструкцией эксцентрикового узла позволит оптимизировать процесс дробления материалов на промышленных предприятиях, повысив эффективность процесса дробления за счет повышения производительности, а также позволит снизить расход потребляемой электроэнергии, сократив при этом финансовые затраты предприятия.

### Выводы

В приведенном исследовании была установлена зависимость воздействия технологических параметров конусной дробилки на эффективность процесса дробления. В ходе эксперимента было установлено, что с уменьшением частоты качания подвижного конуса и увеличением ширины разгрузочной щели, производительность конусной дробилки увеличивается. По разработанной конструкции эксцентрикового узла произведен математический расчет таких параметров, как: минимальная частота вращения конуса, при которой будет обеспечиваться наибольшая эффективность дробления, производительность и потребляемая мощность конусной дробилки. По результатам расчетов можно сделать вывод о том, что конструкция эксцентрикового узла конусной дробилки позволит повысить производительность

и снизить расход электроэнергии. Применение данной конструкции на предприятии целесообразно.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бауман В.А., Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: учебник для ВУЗов. М.: Машиностроение, 1975.
2. Иванов В.Ф. Дробильно-сортировочное оборудование: ч.1. Оборудование для дробления каменных материалов. Красноярск, 1966.
3. Механическое оборудование предприятий стройматериалов. Оборудование для помола материалов: Учеб. пособие / В.С. Богданов [и др.]. Белгород: БелГТАСМ, 1998. 180 с.
4. Груздев А.В., Муйземнек Ю.А. Тенденции совершенствования рабочего процесса в конусных дробилках // Строительные и дорожные машины. 1999. №7. С. 5-7.
5. Конусная дробилка: пат. 91007 U1 Рос. Федерация, № 2009105363/22 / Л.П. Зарогатский, А.Н. Сафронов, О.А. Пирогова; заявл. 16.02.09; опубл. 27.01.10.
6. Конусная инерционная дробилка: пат. 2097132 С1 Рос. Федерация, № 96103335/03 / С.Б. Знаменский, Д.М. Кривелев; заявл. 20.02.96.
7. Конусная дробилка: пат. 220 142 U1 Рос. Федерация, № 2023116839 / М.В. Головкин, А.С. Бондарь, Н.А. Загородний, А.Ю. Савенкова; заявл. 27.06.23.
8. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчёт, особенности эксплуатации. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
9. Руднев В.Д. Конусные дробилки среднего и мелкого дробления (методика расчёта). Томск: Томский университет, 1988. 120 с.
10. Богданов В.С., Василенко О.С, Богданов Д.В., Фадин Ю.М. Расчет производительности конусной инерционной дробилки // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №. 5. С. 77-81.
11. Барзуков О.П., Иванов Н.А., Кацман Я.М. Уточнённый метод расчёта перемещения материала в камере дробления конусных дробилок // Обогащение руд. 1983. №24. С. 3-4.
12. Болдов Ю.В., Егоров И.В. Исследование влияния технологических параметров на характер движения материала в дробящем пространстве конусных дробилок // Строительные и горные машины: Сб. науч. тр./УДН им. П. Лумумбы. М. 1978. С. 36-43.
13. Гячев Л.В. Основы теории бункеров. Новосибирск: Новосибирский университет. 1992. 310 с.
14. Кацман Я.М. Определение механических параметров установившегося режима работы конусных инерционных дробилок // Обогащение руд. 1984. С. 34-38.
15. Клушанцев Б.В. Расчёт производительности щековых и конусных дробилок // Строительные и дорожные машины. 1977. №6. С. 13-15.

### **Загородний Николай Александрович**

Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., зав. кафедрой эксплуатации и организации движения автотранспорта

E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

### **Головкин Михаил Валерьевич**

Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова

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

Аспирант

E-mail: mixail.golovkin.1997@mail.ru

---

N.A. ZAGORODNIY, M.V. GOLOVKIN

## **RESEARCH OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A CONE CRUSHER ON THE PROCESS OF CRUSHED STONE**

**Abstract.** This article studies the influence of technological parameters of a cone crusher on the process of crushing crushed stone. The article analyzes existing inventions in the field of cone crusher design, their advantages and disadvantages. An improved design of the eccentric unit and the principle of its structure are presented. An experiment was conducted in which the dependence of changes in the productivity of a cone crusher on the width of the discharge slot and the frequency of cone swing was established. Based on the developed design of the eccentric unit, a mathematical calculation was made of the minimum cone swing frequency, at which maximum crushing efficiency will be ensured, as well as a calculation of the productivity and power consumption of the cone crusher. The findings of this study confirm the feasibility of using this cone crusher design in enterprises.

**Keywords:** cone crusher, cone crusher productivity, eccentric unit, crushing efficiency

## BIBLIOGRAPHY

1. Bauman V.A., Klushantsev B.V., Martynov V.D. Mekhanicheskoe oborudovanie predpriyatiy stroitel'nykh materialov, izdeliy i konstruktsiy: uchebnyk dlya VUZov. M.: Mashinostroenie, 1975.
2. Ivanov V.F. Drobil'no-sortirovochnoe oborudovanie: ch.1. Oborudovanie dlya drobleniya kamennykh materialov. Krasnoyarsk, 1966.
3. Mekhanicheskoe oborudovanie predpriyatiy stroymaterialov. Oborudovanie dlya pomola materialov: Ucheb. posobie / B.C. Bogdanov [i dr.]. Belgorod: BelGTASM, 1998. 180 s.
4. Gruzdev A.B., Muzzemnek YU.A. Tendentsii sovershenstvovaniya rabocheho protsessa v konusnykh drobilkakh // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 1999. №7. S. 5-7.
5. Konusnaya drobilka: pat. 91007 U1 Ros. Federatsiya, № 2009105363/22 / L.P. Zarogatskiy, A.N. Safronov, O.A. Pirogova; zayavl. 16.02.09; opubl. 27.01.10.
6. Konusnaya inertsiyonnaya drobilka: pat. 2097132 S1 Ros. Federatsiya, № 96103335/03 / S.B. Znamenskiy, D.M. Krivelev; zayavl. 20.02.96.
7. Konusnaya drobilka: pat. 220 142 U1 Ros. Federatsiya, № 2023116839 / M.V. Golovkin, A.S. Bondar', N.A. Zagorodniy, A.YU. Savenkova; zayavl. 27.06.23.
8. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muzzemnek YU.A. Drobilki. Konstruktsiya, raschiot, osobennosti ekspluatatsii. M.: Mashinostroenie, 1990. 320 s.
9. Rudnev V.D. Konusnye drobilki srednego i melkogo drobleniya (metodika raschiota). Tomsk: Tomskiy universitet, 1988. 120 s.
10. Bogdanov V.C., Vasilenko O.S, Bogdanov D.V., Fadin YU.M. Raschet proizvoditel'nosti konusnoy inertsiyonnoy drobilki // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2017. №. 5. S. 77-81.
11. Barzukov O.P., Ivanov N.A., Katsman YA.M. Utochnionnyy metod raschiota peremeshcheniya materiala v ka-mere drobleniya konusnykh drobilok // Obogashchenie rud. 1983. №24. S. 3-4.
12. Boldov YU.V., Egorov I.V. Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh parametrov na kharakter dvizheniya materiala v drobyashchem prostranstve konusnykh drobilok // Stroitel'nye i gornye mashiny: Sb. nauch. tr./UDN im. P. Lumumby. M. 1978. S. 36-43.
13. Gyachev L.V. Osnovy teorii bunkerov. Novosibirsk: Novosibirskiy universitet. 1992. 310 s.
14. Katsman YA.M. Opredelenie mekhanicheskikh parametrov ustanovivshegosya rezhima raboty konusnykh inertsiyonykh drobilok // Obogashchenie rud. 1984. S. 34-38.
15. Klushantsev B.V. Raschiot proizvoditel'nosti shchekovykh i konusnykh drobilok // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 1977. №6. S. 13-15.

### Zagorodniy Nikolay Alexandrovich

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

### Golovkin Mikhail Valerievich

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Postgraduate student  
E-mail: mixail.golovkin.1997@mail.ru

Научная статья

УДК 656.075

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-73-81

В.В. СИВАКОВ, Е.А. ЮРКОВ

## ОСОБЕННОСТИ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ КИТАЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Аннотация.** Рассмотрено состояние вопроса, связанное современным развитием дилерских сетей в РФ, изменением их структуры, связанное с уходом европейских и японских автопроизводителей с российского рынка легковых автомобилей и ускоренным продвижением китайских автопроизводителей. Проанализировано распределение дилерских центров в г. Брянске по брендам. Определены причины обращений клиентов марки Chery к дилеру. Приведены сведения об основных видах дефектов подвески автомобилей марки Chery, основанные на данных ООО «Дебрянскавто».

**Ключевые слова:** автомобиль, сервисное обслуживание, дилер, китайские автомобили, причины обращений к дилерам

### Введение

Автомобиль давно стал частью современного общества, дав человеку высокую мобильность. Учитывая сложность конструкции автомобиля, процесс продажи автомобилей и его технического обслуживания осуществляется через дилерские сети [1]. Объемы продаваемых автомобилей в мире превышают 75 млн. (рис. 1), при этом в двадцатку лидеров среди автопроизводителей в 2023 г. вошли 4 китайских бренда (табл. 1).

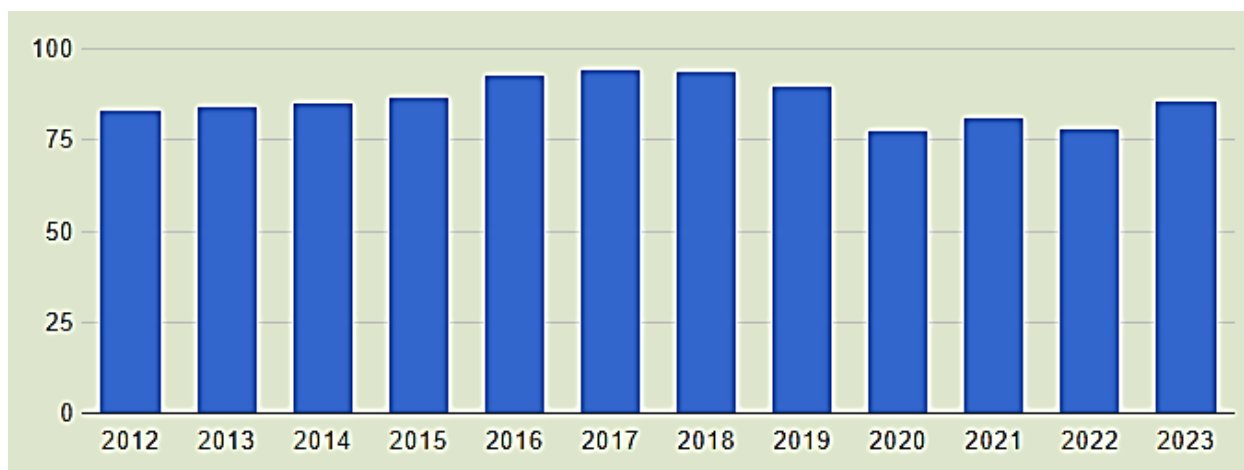


Рисунок 1 – Динамика мировых продаж легковых автомобилей

В связи с уходом с российского рынка американских и многих европейских производителей, происходят серьезные изменения на российском рынке [3-6], на который пришло большое количество китайских автопроизводителей.

Рассматривая тенденцию развития дилерских сетей, необходимо отметить, что с 2015 г. наблюдалась тенденция снижения общего числа дилерских центров, эта ситуация стабилизировалась в 2022 г. и в 2023 г. число дилеров значительно возросло (рис. 2).

В 2023 г. в РФ насчитывалось 2000 дилерских центров китайских производителей, из которых более половины приходится на известные китайские бренды (рис. 3) [7]. Так, количество дилерских центров Chery в России стремительно увеличивается и к концу 2023 г. составило 205 единиц. У этого производителя самая крупная сеть дилерских центров в России среди китайских брендов, а в общем рейтинге Chery занимает четвертое место после Lada, Kia и Hyundai.

Таблица 1 – Самые продаваемые марки автомобилей в мире в 2023 г. [2]

Место	Марка	2023 год млн шт	2022 год млн шт	± %
1	Toyota	8,79	8,27	6,3
2	Volkswagen	4,96	4,69	5,8
3	Ford	3,83	3,53	8,5
4	Honda	3,82	3,71	3,0
5	Hyundai	3,61	3,51	2,8
6	<b>BYD</b>	<b>3,00</b>	<b>1,88</b>	<b>59,6</b>
7	Nissan	3,00	3,01	-0,3
8	Suzuki	2,94	2,84	3,5
9	Kia	2,82	2,72	3,7
10	Chevrolet	2,80	2,49	12,4
11	BMW	2,11	2,02	4,5
12	Tesla	2,10	1,54	36,4
13	Mercedes	2,07	1,90	8,9
14	<b>ChangAn</b>	<b>1,78</b>	<b>1,72</b>	<b>3,5</b>
15	Audi	1,78	1,54	15,6
16	<b>Chery</b>	<b>1,61</b>	<b>1,11</b>	<b>45,0</b>
17	Renault	1,44	1,36	5,9
18	<b>Geely</b>	<b>1,44</b>	<b>1,18</b>	<b>22,0</b>
19	MG	1,26	0,91	38,5
20	Fiat	1,24	1,15	7,8

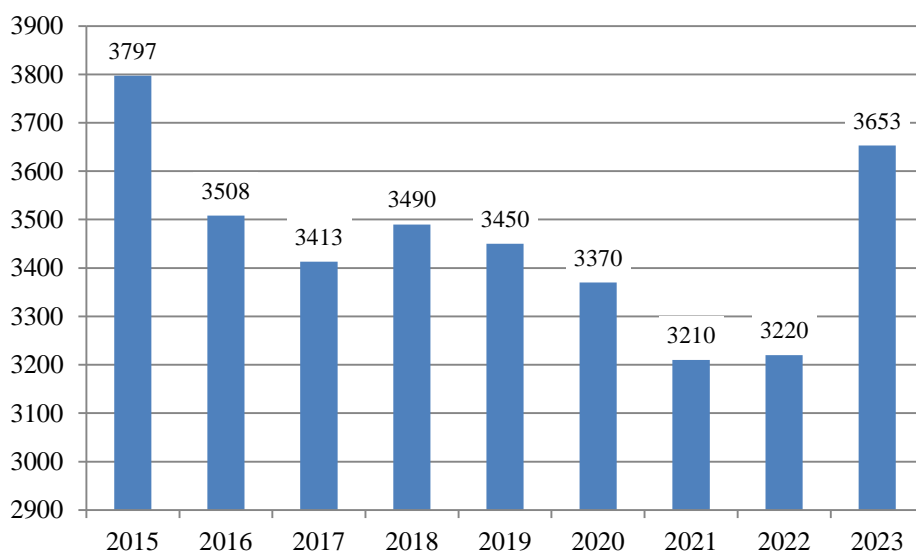


Рисунок 2 – Динамика изменения численности дилерских центров в РФ

Chery – крупный китайский автопроизводитель, основанный в 1997 году и с течением времени ставший одним из крупнейших автомобильных брендов в мире благодаря постоянным инновациям и качеству своих продуктов. Однако, до 2020 г. продажи легковых автомобилей в РФ были незначительными. В последние годы бренд увеличивал продажи, представляя новые модели, такие как Tiggo 4, Tiggo 7, Tiggo 8, Arizo8.

По итогам 2023 г. продажи Chery в РФ составили 118 055 автомобилей, что свидетельствует о стабильном росте популярности бренда среди российских потребителей (рис. 4).

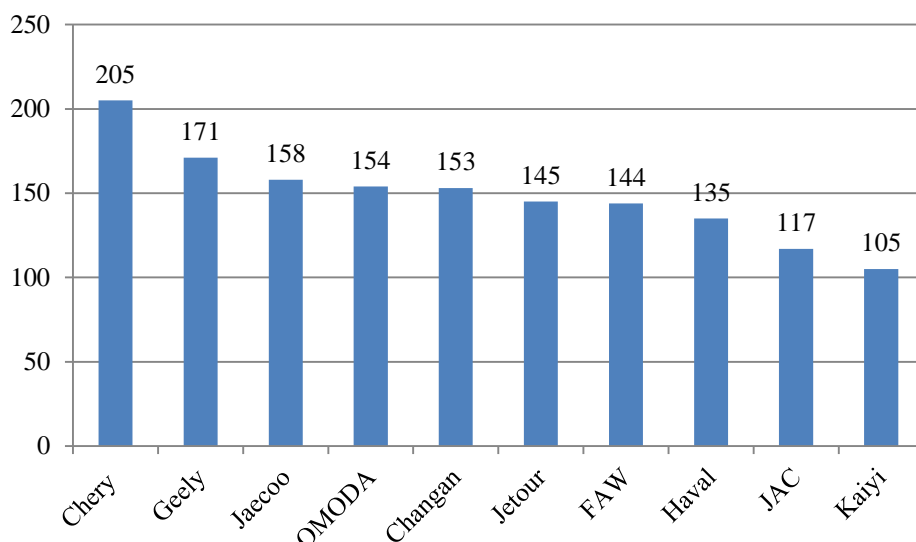


Рисунок 3 – Дилерские сети основных китайских автопроизводителей в РФ [4]

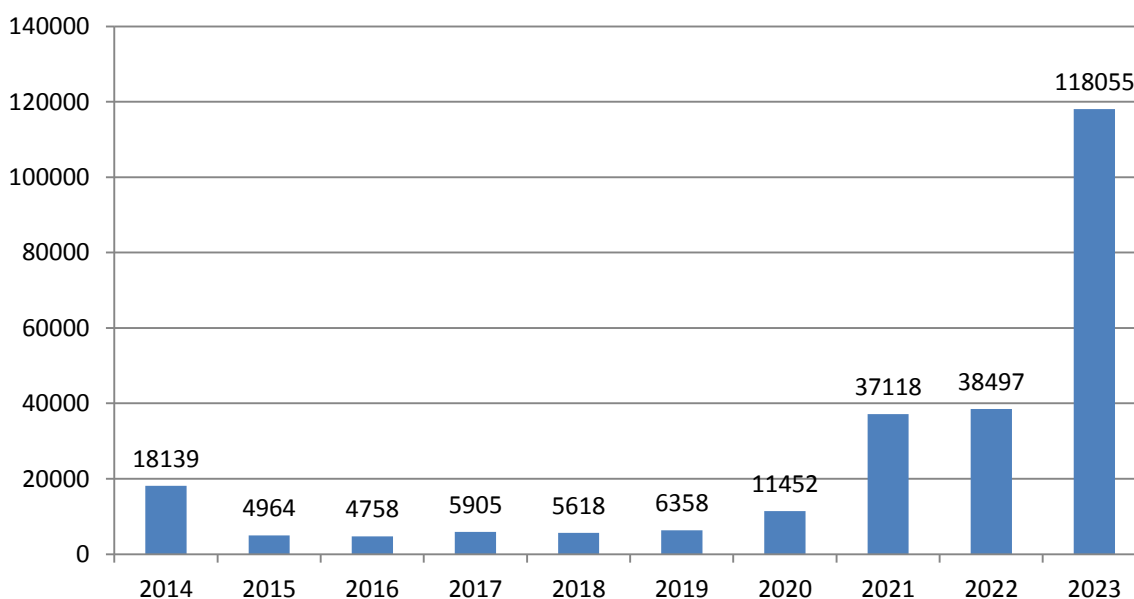


Рисунок 4 - Динамика продаж автомобилей Chery в РФ

Целью статьи – повышение эффективности обслуживания автомобилей китайского бренда Chery в г.Брянске.

#### **Материал и методы**

Изменение объемов продаж легковых автомобилей, изменение структуры сложившихся дилерских сетей в РФ, переориентация их на автомобили китайских автопроизводителей, требует от российских партнеров быстрой реакции на изменяющиеся условия ведения бизнеса.

Для разработки адекватной политики дилера требуются знания особенностей взаимодействия с производителями автомобилей из КНР, иметь соответствующее оборудование, в первую очередь автомобильные сканеры, позволяющие осуществлять диагностирование и перекодировку электронных блоков, техническую информацию о системах и агрегатах, сервисную информацию по технологии технического обслуживания и ремонта, а также статистические данные по выходу узлов и агрегатов из строя.

#### **Результаты и обсуждение**

В Брянске на начало 2024 г. общее количество дилерских центров достигло 18, часть из них работает в мультибрендовом формате. Как правило, дилерские центры входят в группы

компаний, включающих несколько дилерских центров, в том числе расположенных в других городах.

Среди брянских автодилеров отмечается такая же тенденция, как и по всей РФ, китайские и российские дилеры вытесняют европейских (рис. 5), при этом 56 % дилерских центров региона работают с китайскими автопроизводителями.

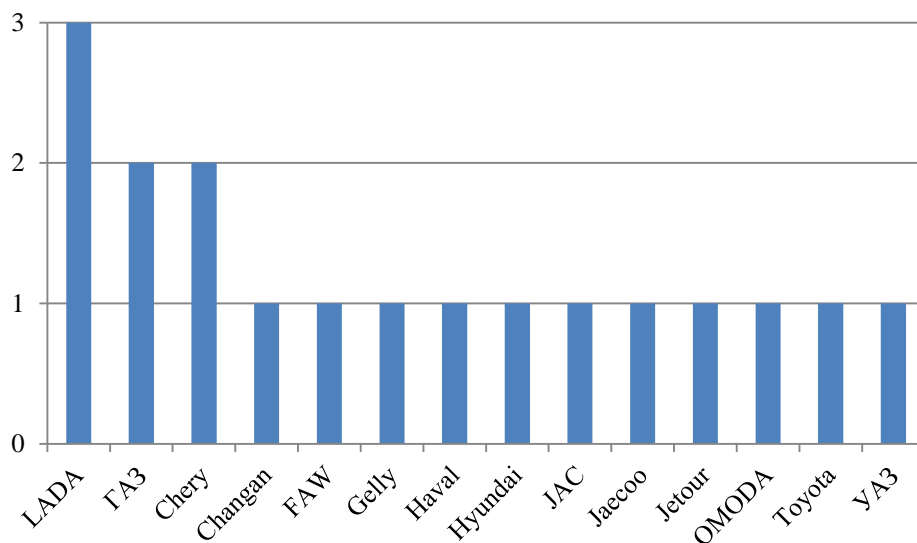


Рисунок 5 - Распределение дилерских центров в г. Брянске по брендам

Однако, имеется и ряд проблем в работе с автомобилями китайских брендов, к которым можно отнести сложности взаимодействия, долгий срок доставки запчастей, снижение норм времени на гарантийный ремонт автомобилей. Рассмотрим подробнее сложности работы на примере автомобилей марки Chery, представленной в Брянске двумя дилерскими центрами компаний – ООО «Дебрянскавто» и ООО «Брянскзапчасть».

На данный момент в Брянске каждый месяц продаётся порядка 80 автомобилей марки Chery разных моделей (рис. 6).

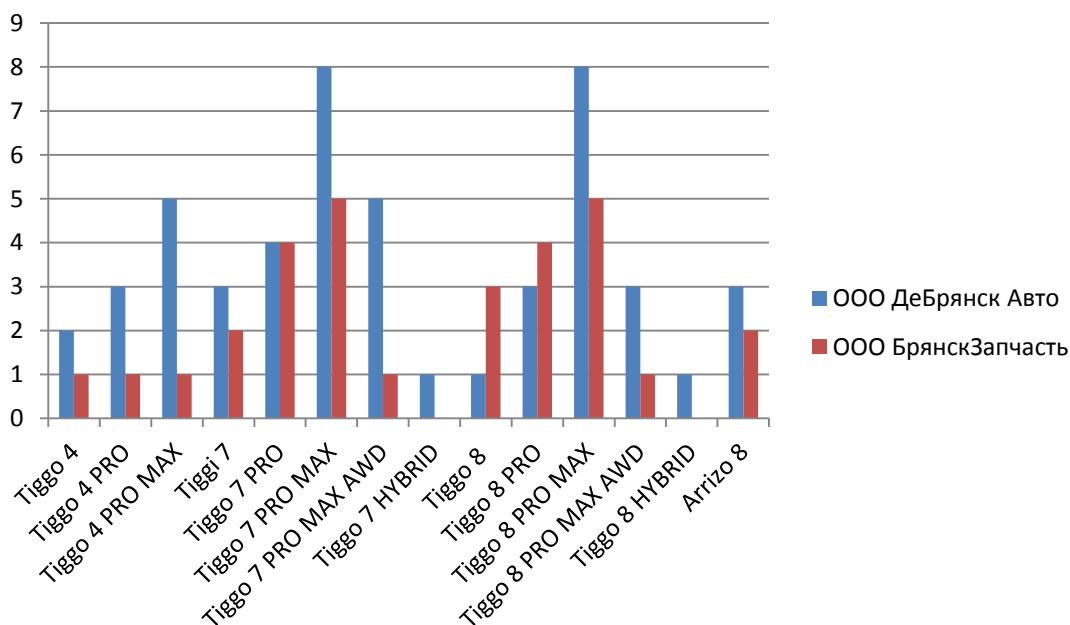


Рисунок 6 – Количество продаваемых автомобилей по дилерам и по моделям в месяце в г. Брянске

Учитывая, что модели автомобилей являются новыми, по итогам российской эксплуатации у них возникают выход из строя отдельных деталей и узлов. Гарантийным ремонтом в



этом случае занимаются дилерские предприятия [8]. На основании проведенного анализа причин обращения клиентов к официальному дилеру за 1 полугодие 2024 г. установлено, что основными причинами являются:

- окисление хромированных деталей (дисков, молдингов, рейлингов);
- стуки и гулы в подвески (рулевые наконечники, стойки стабилизатора, рулевые рейки, промежуточный вал рулевого управления, ступичные подшипники, задний редуктор);
- течи масла и антифриза;
- сбои в работе всех электронных систем (магнитола, блок АБС, КПП) (табл. 2).

Таблица 2 – Основные причины обращения клиентов в дилерский центр

Причина обращения	Модель автомобиля			
	Tiggo 4 (1/2/3)	Tiggo 7 (1/2/3)	Tiggo 8 (1/2/3)	Arrizo 8 (1/2/3)
Стук (скрип) в подвески:				
- рулевой наконечник	1	10	8	0
- рулевая рейка	3	5	4	1
- промежуточный вал рулевого управления	5	5	4	0
- стойки стабилизатора (шаровые опоры)		2	0	0
Гул в подвески:				0
- ступичные подшипники	0	1	0	0
- задний редуктор	0	1	11	0
Окисления хрома:				
- колёсные диски	2	4	3	2
- молдинги	0	1	1	1
- рейлинги	0	1	1	0
Течи масла и антифриза	1	1	1	0
Сбои в работе электронных систем	4	10	7	2
Примечание:				
1) модель Chery Tiggo 4 включает в себя модели 4, 4 PRO, 4 PRO MAX;				
2) модель Chery Tiggo 7 включает в себя модели 7, 7 PRO, 7 PRO MAX, 7 PRO MAX AWD, 7 HYBRID;				
3) модель Chery Tiggo 8 включает в себя модели 8, 8 PRO, 8 PRO MAX, 8 PRO MAX AWD, 8 HYBRID				

Дефекты подвески зачастую проявляются на пробегах до 50 тыс. км (табл. 3).

Также, помимо гарантийного ремонта, дилер обязан осуществлять сервисные мероприятия с различными узлами.

На сегодняшний день существуют следующие сервисные мероприятия:

I Для автомобилей Chery Tiggo 4/ 4PRO/ 4 PRO MAX

- 1) замена предохранителей и проверка обновления блока ABS для автомобилей, произведённых в 2022 г., данное мероприятие проводилось до февраля 2024 года;
- 2) замена блока ABS, данное мероприятие началось с февраля 2024, по причине того, что предыдущее, связанное в блоком ABS, не устранило дефекты блоков;
- 3) проверка качества сварных соединений задней балки.

II Для автомобилей Chery Arrizo 8

- 1) Установка картриджей с амортизаторов.

III Для всех автомобилей

- 1) Обновления блока магнитолы, блока КПП, блока муфты полного привода (при наличии).

Таким образом, для повышения эффективности диагностирования автомобилей целесообразно совершенствовать технологию диагностирования [9-13], применять новые методы быстрой диагностики [14, 15], а также внедрять анализ больших данных, цифровизацию [16-18], цифровые двойники [19-21].

Таблица 3 – Основные виды дефектов подвески

Узел подвески	Изображение узла	Пробег выхода из строя
Стойка стабилизатора	<p>передняя</p>  <p>задняя</p> 	<p>от 20 до 40 тыс. км.</p> <p>до 10 тыс. км.</p>
шаровая опора		от 10 до 20 тыс. км
рулевой наконечник		от 5 до 10 тыс. км.
рулевая рейка		до 5 тыс. км.
промежуточный вал		от 15 до 30 тыс. км.
задний редуктор		от 20 до 30 тыс. км.
ступичный подшипник		от 40 до 50 тыс. км.

### **Выводы**

Изменение в политической обстановке в РФ привело к кризису в области производства и поставок новых автомобилей, что оказало большое влияние на деятельность российских автодилеров, которые столкнулись с большими трудностями в продолжении своей деятельности. Им пришлось в непростых условиях оперативно переориентироваться на производителей автомобилей из Китая, как широко, так и мало известных. Для успешного ведения бизнеса требуются статистические данные по наиболее часто выходящим из строя деталям и узлам.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Yang Bo, Paleev D.L. Development of the Chinese Automotive Industry on New Energy // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Vol. 13. №2-1. P. 91-97. DOI 10.34670/AR.2023.22.72.005.
2. Кондратьев А.В., Лазарев Б.А., Абдулрагимов И.А. Экономические санкции, как причины дестабилизации автомобильного рынка в России // Отходы и ресурсы. 2023. Т. 10. №1. DOI 10.15862/13ECOR123.
3. Иванчина А.А. Анализ роста продаж китайских автомобильных брендов в России за период 2019-2020 гг // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. 2021. Т. 13. №4(42). С. 64-80. DOI 10.38050/2078-3809-2021-13-4-64-80.
4. Ма И., Амурская М.А. Расширение присутствия китайских компаний в России // Экономические науки. 2023. №228. С. 253-256. DOI 10.14451/1.228.253.
5. Султыгова А.А., Кунцман М.В., Черноусов Д.А. Китайские автомобили на российском рынке в современных условиях // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. №12-3. С. 126-130.
6. Комаров С.Д., Ретюнских В.Н., Кирюшин И.Н., Аникин Н.В. Развитие рынка автомобилей китайского производства в России // Воронежский научно-технический Вестник. 2023. Т. 2. №2(44). С. 71-80. DOI 10.34220/2311-8873-2023-71-80.
7. Павлов Д.А., Дракунов И.И., Сиваков В.В. Анализ тенденций развития дилеров в Российской Федерации на примере г. Брянска // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сборник научных трудов по материалам 81-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). 2023. С. 105-109.
8. У «китайцев» стало 2 тысячи дилеров – за год их число удвоилось [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autostat.ru/news/55983/>.
9. Ломакин Д.О., Симушкин А.В. Совершенствование технологии диагностирования ходовой части легковых автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-2(83). С. 9-13. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-9-13.
10. Бакулов П.А., Кудрявцев А.А., Власов В.М. Перспективы автоматизированного подхода к диагностированию неисправностей автомобиля как помощь автовладельцу // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №1(72). С. 13-19. DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-13-19.
11. Кокарев О.П., Кириллов А.Г., Нуждин Р.В. Оценка ресурса элементов тормозной системы // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-3(82). С. 16-22. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-16-22.
12. Агеева Е.В., Виноградов Е.С., Щербаков А.В. Организация диагностирования автотранспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-1(82). С. 29-35. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-1(82)-29-35.
13. Дьяков И.Ф. Прогнозирование ресурса рессорной подвески транспортного средства // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №4-1(79). С. 23-33. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-23-33.
14. Сиваков В.В., Грядунов С.С., Деревягин Р.Ю. Применение тепловизоров для диагностирования грузовых автомобилей // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. №2. С. 16-21. DOI: 10.31044/1684-2561-2022-0-2-16-21.
15. Сиваков В.В., Грядунов С.С., Деревягин Р.Ю. Совершенствование диагностирования автомобилей тепловизионным способом // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2021. №3. С. 79-87. DOI 10.15593/24111678/2021.03.10.
16. Родичев А.Ю., Иванов О.А., Родичева И.В., Васильев К.В. Роль больших данных в цифровизации автомобильной отрасли: новые возможности для удаленной диагностики автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-2(83). С. 14-21. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-14-21.
17. Gupta Dr, Bansal Dr, Singh Sandeep. Application of Failure Mode Effect Analysis for Improved Scheduling in Maintenance of Machines // International Journal of Innova-tive Technology and Exploring Engineering. 2020. №9. P. 895-899. doi: 10.35940/ijitee.E3025.049620.
18. Kurniawan Rizki, Kholik Heri. Usulan Perawatan Mesin Stitching Dengan Metode Reliability Centered Maintenance // Jurnal Teknik Industri. 2017. Vol. 16. №2. P. 83-91.

19. Ashtari Behrang, Jung Tobias, Lindemann Benjamin, Sahlab Nada, Jazdi Nasser, Schloegl Wolfgang, Weyrich Michael. An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System. at - Automatisierungstechnik. 2019. №67. P. 762-72. DOI: 10.1515/auto-2019-0039.8.

20. Shvedenko Vladimir, Mozokhin Andrey. Concept of digital twins at life cycle stages of production systems. Scientific and Technical // Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2020. №20. P. 815-827. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-6-815-827.

21. Erpalov A., Khoroshevskii K., Gadolina Irina. Actual problems of creating digital twins of machine engineering products in terms of durability assessment. Industrial laboratory. Diagnostics of materials. 2023. №89. P. 67-75. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-8-67-75.

**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

**Юрков Евгений Андреевич**

Брянский государственный инженерно-технологический университет

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

Аспирант

E-mail: iurkow.j@ya.ru

---

V.V. SIVAKOV, E.A. YURKOV

## FEATURES OF CHINESE-MADE CAR SERVICE

**Abstract.** *The article considers the state of the issue related to the modern development of dealer networks in the Russian Federation, the change in their structure associated with the withdrawal of European and Japanese automakers from the Russian passenger car market and the accelerated promotion of Chinese automakers. The distribution of dealerships in Bryansk by brand is analyzed. The reasons for the appeals of Chery brand customers to the dealer have been determined. Information is provided on the main types of suspension defects of Chery brand cars, based on data from LLC «Debryanskavto».*

**Keywords:** *car, service, dealer, Chinese cars, reasons for contacting dealers*

## BIBLIOGRAPHY

1. Yang Bo, Paleev D.L. Development of the Chinese Automotive Industry on New Energy // *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra*. 2023. Vol. 13. №2-1. P. 91-97. DOI 10.34670/AR.2023.22.72.005.

2. Kondrat'ev A.V., Lazarev B.A., Abdulragimov I.A. Ekonomicheskie sanktsii, kak prichiny destabilizatsii avtomobil'nogo rynka v Rossii // *Otkhody i resursy*. 2023. T. 10. №1. DOI 10.15862/13ECOR123.

3. Ivanchina A.A. Analiz rosta prodazh kitayskikh avtomobil'nykh brendov v Rossii za period 2019-2020 gg // *Nauchnye issledovaniya ekonomicheskogo fakul'teta. Elektronnyy zhurnal*. 2021. T. 13. №4(42). S. 64-80. DOI 10.38050/2078-3809-2021-13-4-64-80.

4. Ma I., Amurskaya M.A. Rasshirenie prisutstviya kitayskikh kompaniy v Rossii // *Ekonomicheskie nauki*. 2023. №228. S. 253-256. DOI 10.14451/1.228.253.

5. Sulygova A.A., Kuntsman M.V., Chernousov D.A. Kitayskie avtomobili na rossiyskom rynke v sovreennykh usloviyakh // *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2015. №12-3. S. 126-130.

6. Komarov S.D., Retyunskikh V.N., Kiryushin I.N., Anikin N.V. Razvitie rynka avtomobiley kitayskogo proizvodstva v Rossii // *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii Vestnik*. 2023. T. 2. №2(44). S. 71-80. DOI 10.34220/2311-8873-2023-71-80.

7. Pavlov D.A., Drakunov I.I., Sivakov V.V. Analiz tendentsiy razvitiya dilerov v Rossiyskoy Federatsii na primere g. Bryanska // *Aktual'nye voprosy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: Sbornik nauchnykh trudov po materialam 81-oy nauchno-metodicheskoy i nauchno-issledovatel'skoy konferentsii MADI*. Moskva: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet (MADI). 2023. S. 105-109.

8. U "kitaytsev" stalo 2 tysyachi dilerov - za god ikh chislo udvoilos` [Elektronnyy resurs]. URL:

<https://www.autostat.ru/news/55983/>.

9. Lomakin D.O., Simushkin A.V. Sovershenstvovanie tekhnologii diagnostirovaniya khodovoy chasti legkovykh avtomobiley // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №4-2(83). S. 9-13. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-9-13.

10. Bakulov P.A., Kudryavtsev A.A., Vlasov V.M. Perspektivy avtomatizirovannogo podkhoda k diagnostirovaniyu neispravnostey avtomobilya kak pomoshch` avtovladel`tsu // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2021. №1(72). S. 13-19. DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-13-19.

11. Kokarev O.P., Kirillov A.G., Nuzhdin R.V. Otsenka resursa elementov tormoznoy sistemy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №3-3(82). S. 16-22. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-16-22.

12. Ageeva E.V., Vinogradov E.S., Shcherbakov A.V. Organizatsiya diagnostirovaniya avtotransportnykh sredstv // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №3-1(82). S. 29-35. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-1(82)-29-35.

13. D`yakov I.F. Prognozirovaniye resursa resornoy podveski transportnogo sredstva // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2022. №4-1(79). S. 23-33. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-23-33.

14. Sivakov V.V., Gryadunov S.S., Derevyagin R.YU. Primeneniye teplovizorov dlya diagnostirovaniya gruzovykh avtomobiley // *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*. 2022. №2. S. 16-21. DOI: 10.31044/1684-2561-2022-0-2-16-21.

15. Sivakov V.V., Gryadunov S.S., Derevyagin R.YU. Sovershenstvovanie diagnostirovaniya avtomobiley teplovizionnym sposobom // *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2021. №3. S. 79-87. DOI 10.15593/24111678/2021.03.10.

16. Rodichev A.YU., Ivanov O.A., Rodicheva I.V., Vasil`ev K.V. Rol` bol`shikh dannykh v tsifrovizatsii avtomobil`noy otrasli: novye vozmozhnosti dlya udalennoy diagnostiki avtomobiley // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №4-2(83). S. 14-21. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-14-21.

17. Gupta Dr, Bansal Dr, Singh Sandeep. Application of Failure Mode Effect Analysis for Improved Scheduling in Maintenance of Machines // *International Journal of Inno-vative Technology and Exploring Engineering*. 2020. №9. R. 895-899. doi: 10.35940/ijitee.E3025.049620.

18. Kurniawan Rizki, Kholik Heri. Usulan Perawatan Mesin Stitching Dengan Metode Reliability Centered Maintenance // *Jurnal Teknik Industri*. 2017. Vol. 16. №2. R. 83-91.

19. Ashtari Behrang, Jung Tobias, Lindemann Benjamin, Sahlab Nada, Jazdi Nasser, Schloegl Wolfgang, Weyrich Michael. An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System. at - *Automatis-ierungstechnik*. 2019. №67. R. 762-72. DOI: 10.1515/auto-2019-0039.8.

20. Shvedenko Vladimir, Mozokhin Andrey. Concept of digital twins at life cycle stages of production systems. *Scientific and Technical // Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2020. №20. R. 815-827. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-6-815-827.

21. Erpalov A., Khoroshevskii K., Gadolina Irina. Actual problems of creating digital twins of machine engineering products in terms of durability assessment. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*. 2023. №89. R. 67-75. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-8-67-75.

**Sivakov Vladimir Viktorovich**

Bryansk State University of Engineering and Technology  
Adress: 241037, Russia, Bryansk, prosp. Stanke Dimitrova, 3  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: sv@bgtu.ru

**Yurkov Evgeny Andreevich**

Bryansk State University of Engineering and Technology  
Adress: 241037, Russia, Bryansk, prosp. Stanke Dimitrova, 3  
Graduate student  
E-mail: iurkow.j@ya.ru

Научная статья

УДК 62-93

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-82-87

А.Ю. РОДИЧЕВ, О.А. ИВАНОВ, И.В. РОДИЧЕВА, К.В. ВАСИЛЬЕВ

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗНОСА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ БАЛАНСИРНОЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ

***Аннотация.** В статье представлена статистическая оценка результатов износа подшипников скольжения балансирной подвески автомобиля КамАЗ. Рассмотрены варианты статистической обработки данных. На основании проведенных замеров было построено четыре гистограммы износа и на каждую из них наложена соответствующая функция плотности вероятности нормального распределения. Основываясь на анализе результатов статистической оценки состояния подшипников скольжения балансирной подвески автомобиля КамАЗ, были сделаны выводы о необходимости ремонта/замены/технического обслуживания подшипников скольжения на данном сроке их эксплуатации.*

***Ключевые слова:** статистическая оценка, износ, балансирная подвеска, подшипник скольжения*

### **Введение**

В научных исследованиях анализ числовых данных играет ключевую роль, поскольку позволяет выявлять закономерности, оценивать параметры и проверять гипотезы. В данной работе мы подробно рассмотрим основные этапы анализа данных, акцентируя внимание на важности проверки нормальности распределения и применимости параметрических и непараметрических методов. Статистическое исследование состоит из трех основных стадий [1]: получение данных; первичная обработка (предобработка данных); интерпретация и анализ полученных данных. Первым шагом в анализе числовых данных является их получение. Сбор данных представляет собой процесс сбора и измерения информации по интересующим переменным в установленной систематической манере, что позволяет ответить на поставленные исследовательские вопросы, проверить гипотезы и оценить результаты. Компонент сбора данных является общим для всех областей исследования, включая физические и социальные науки, гуманитарные науки, бизнес и т.д. Хотя методы могут варьироваться в зависимости от дисциплины, акцент на обеспечении точного и честного сбора данных остается неизменным [2]. Предобработка данных (подготовка, очистка данных), представляет собой процесс обнаружения и исправления (или удаления) поврежденных или неточных записей из набора данных. Она включает в себя идентификацию неправильных, неполных, нерелевантных частей данных, а затем модификацию, замену или удаление «грязных» или «грубых» значений [3]. Интерпретация данных заключается в понимании их значения и принятии решений на основе результатов анализа. Существует два основных подхода к интерпретации данных: описательная статистика и статистический вывод. Описательная статистика применяется для простого обобщения данных, полученных в ходе выборочного исследования. В свою очередь, статистический вывод необходим для того, чтобы сделать заключения о генеральной совокупности на основе значений, полученных из выборки [4-6]. Описательная статистика подразумевает получение различных показателей, которые описывают набор данных [7]. Показатели условно можно разделить на меры центральной тенденции: медиана, мода; меры изменчивости: доверительный интервал, стандартное отклонение, дисперсия, минимальные и максимальные значения переменных; меры формы: асимметрия и эксцесс. Статистический вывод представляет собой процесс получения заключений о свойствах генеральной совокупности на основе данных, полученных из выборки [8]. Сделать вывод о достоверности выбранного параметра как меры оценки генеральной совокупности возможно после



проверки гипотезы [9-11].

**Материал и методы**

В качестве объекта исследования нами был рассмотрен подшипник скольжения балансирной тележки автомобиля КамАЗ. В качестве предмета – рассмотрены параметры износа подшипника скольжения. Были проведены исследования параметров износа 110 подшипников скольжения. Схема и порядок замеров представлены на рисунке 1.

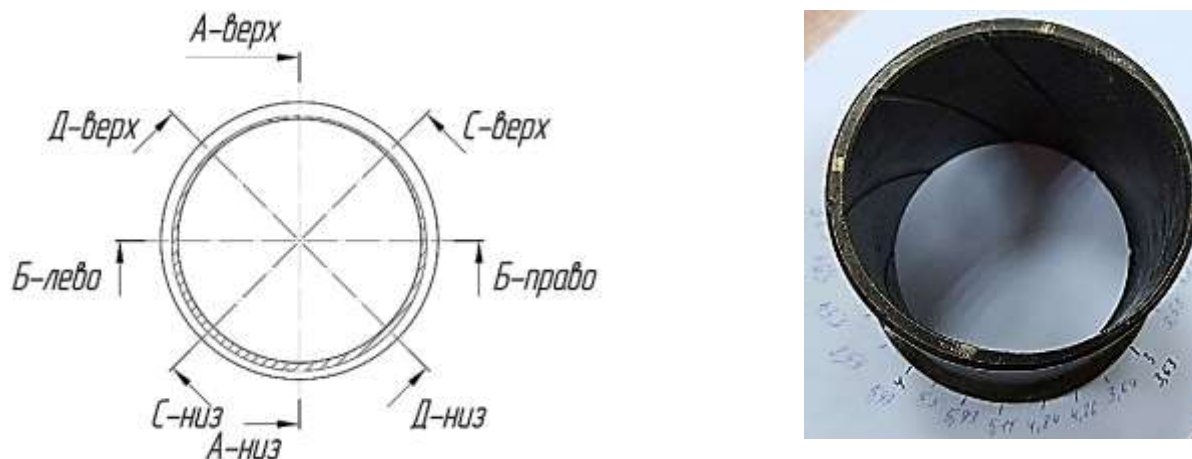


Рисунок 1 – Схема замеров

Полученные данные в результате замеров были подвергнуты статистической обработке. Полученное графическое представление данных, помогает визуально оценить распределение износа и выявить возможные аномалии. Для этого можно использовать гистограммы, диаграммы boxplot, которые являются графиками, используемыми в описательной статистике для компактного изображения одномерного распределения вероятностей при помощи математических диаграмм scatter plot, необходимых для анализа взаимосвязи износа на разных плоскостях [12]. Для визуальной оценки нормальности распределения рассматриваемых данных необходимо построить четыре гистограммы износа и с наложением на каждую из них соответствующей функции плотности вероятностного нормального распределения. Полученные гистограммы будет визуализировать фактическое распределение данных, а кривая функции плотности вероятности нормального распределения показывать, как должно выглядеть распределение, если данные идеально соответствуют нормальному закону. Что позволяет наглядно оценить, насколько данные соответствуют нормальному распределению и выявить отклонения или аномалии.

**Теория**

Для визуальной оценки нормальности распределения рассматриваемых данных было построено четыре гистограммы износа и на каждую из них наложена соответствующая функция плотности вероятности нормального распределения. В нашем случае гистограмма визуализирует фактическое распределение данных, а кривая функции плотности вероятности нормального распределения показывает, как должно выглядеть распределение, если данные идеально соответствуют нормальному закону, что позволяет наглядно оценить, насколько данные соответствуют нормальному распределению и выявить отклонения или аномалии (рис. 2) [13-16].

Анализ нормальности распределения данных проводим с помощью теста Колмогорова-Смирнова, который используется для выборок размером  $n \geq 50$ .

$$D = \max |F_{obs}(x) - F_{exp}(x)|, \tag{1}$$

где  $F_{obs}(x)$  - эмпирическая кумулятивная функция распределения рассматриваемых данных;  
 $F_{exp}(x)$  - кумулятивная функция нормального распределения;  
 p-value для теста Колмогорова-Смирнова:

$$p = 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^{i-1} e^{-2i^2 D^2}}{2i}, \tag{2}$$

где D - статистика критерия Колмогорова-Смирнова

Для каждой группы измерений был проведен тест Колмогорова-Смирнова (табл. 1). По результатам теста для каждой группы измерений нулевая гипотеза о нормальности распределения отвергается (p-value < 0,05).

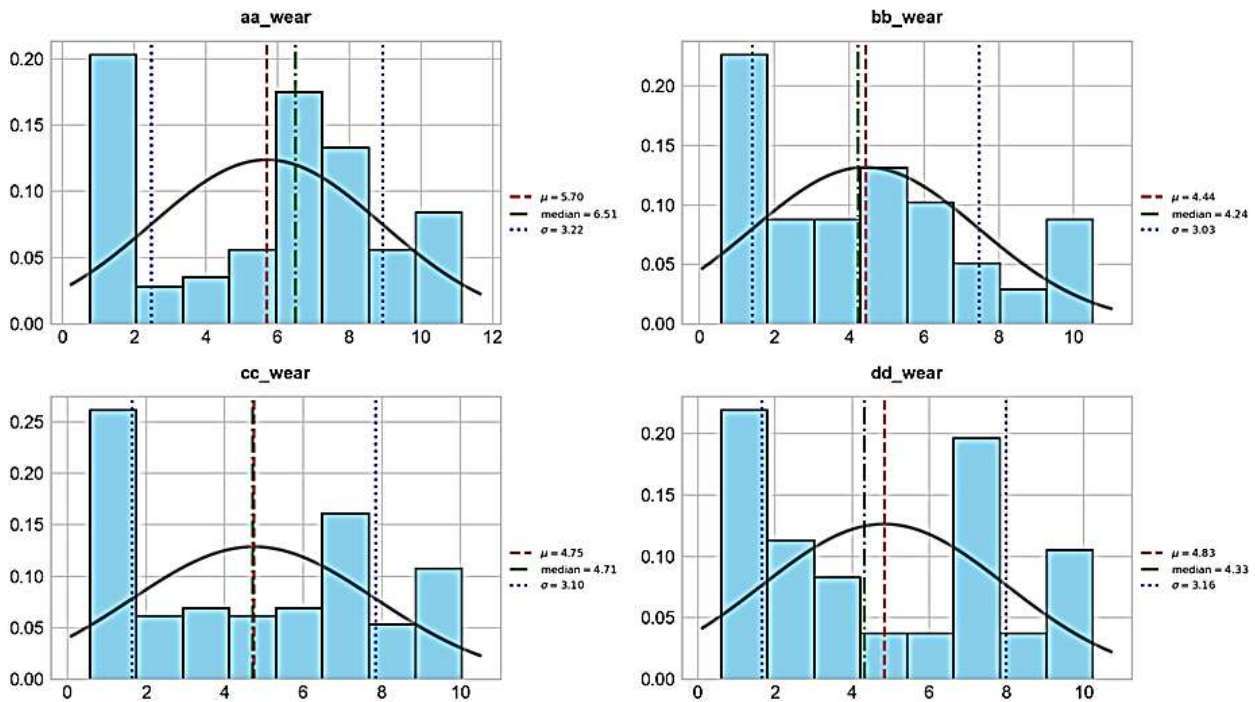


Рисунок 2 – Распределение плотности вероятности каждой пары измерений

Таблица 1 - Результаты теста Колмогорова-Смирнова

	АА износ	ББ износ	СС износ	ДД износ	Макс. износ
Статистика	0,78	0,72	0,75	0,78	0,83
p-value	1,86e-69	3,07e-58	3,94e-64	3,71e-71	1,67e-83

Поскольку распределение данных не соответствует нормальному, мы не можем применять параметрические тесты, такие как ANOVA или t-test. В нашем случае целесообразно использование статистического метода Bootstrapping [17-19]. Суть метода заключается в том, что случайным образом из оригинальной выборки составляется новая (некоторые элементы могут попадать несколько раз, некоторые исключаться), для выборки вычисляются ее параметры (в нашем случае - средние). Таким образом мы получаем оценку параметров генеральной совокупности (настоящих параметров данных) не математически (с помощью параметрических методов), а экспериментально [20, 21]. Согласно Центральной предельной теореме:

$$\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \rightarrow N(0,1), \tag{3}$$

где  $X_1, \dots, X_n$  - бесконечная последовательность независимых одинаково распределённых случайных величин, имеющих конечное математическое ожидание  $\mu$  и дисперсию  $\sigma^2$ ;

$N$  - нормальное распределение.

Иллюстрацию этого можем видеть на гистограмме (рис. 3) распределения выборочных средних для износа АА.

Несмотря на далекое от нормального распределение оригинальных данных, при большом числе выборок распределение близко к нормальному. Красным отмечен доверительный интервал для среднего износа АА.

**Результаты и обсуждение**

Для каждой переменной (4 пары измерений и максимальный износ) была произведена оценка доверительного интервала и стандартной ошибки для среднего значения методом Bootstrapping (табл. 2) и проведена его визуализация со значением среднего из настоящей выборки (рис. 4).

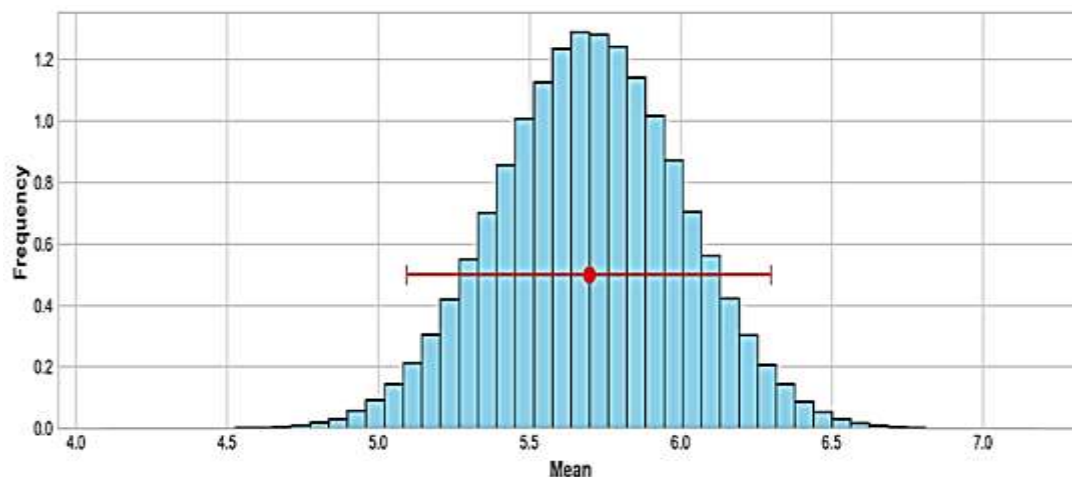


Рисунок 3 – Распределение выборочных средних значений для износа А-А

Таблица 2 – Оценка доверительного интервала и стандартной ошибки для среднего значения

	Плоскость АА	Плоскость ББ	Плоскость СС	Плоскость ДД	Макс. износ
Доверительный интервал для среднего значения	[5,09 - 6,3]	[3,89 – 5,02]	[4,17 – 5,33]	[4,24 – 5,42]	[5,18 – 6,37]
Стандартная ошибка среднего значения	0,605	0,565	0,58	0,59	0,595

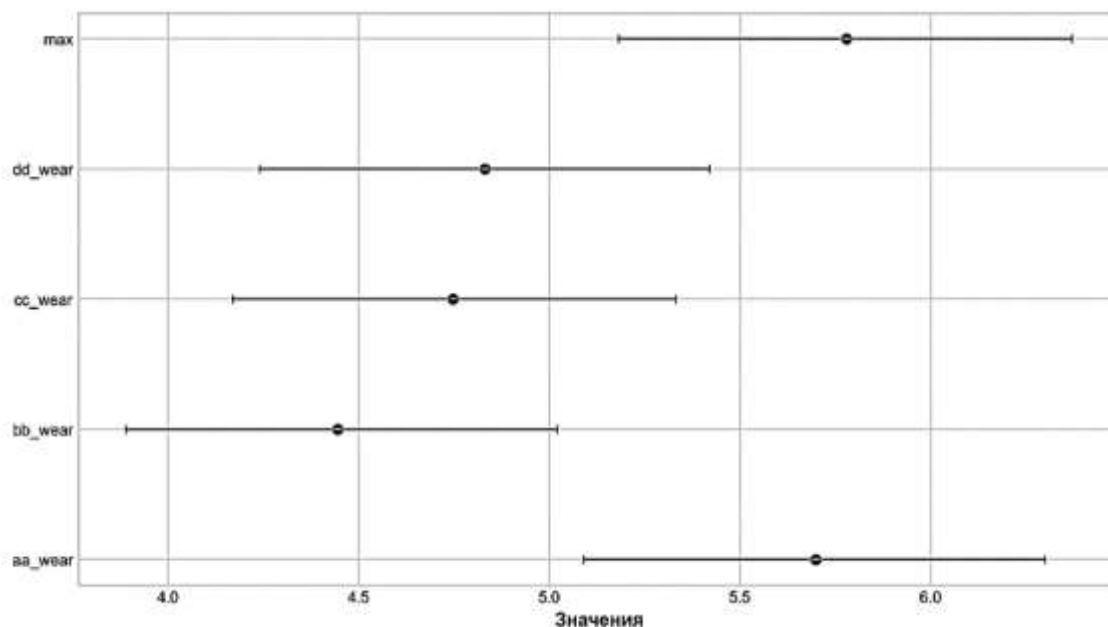


Рисунок 4 – Визуализация доверительных интервалов со значением среднего из настоящей выборки

Анализируя полученную информацию средние значения износа для рассматриваемых подшипников скольжения лежит в границах доверительных интервалов. Согласно обработанной информации и полученным результатам мы можем предположить ремонт/замену/техническое обслуживание подшипников скольжения на данном сроке эксплуатации.

**Выводы**

Основываясь на анализе ранее проведенных исследований и новых полученных результатов статистической оценки состояния подшипников скольжения балансирной подвески автомобиля КамАЗ, можно сделать следующие выводы:

- износ внутренней поверхности подшипника скольжения значительно явно выражен в плоскости А-А;

- стандартные ошибки среднего значения показывают, что оценки средних значений имеют схожую степень точности для всех групп;
- среднее значение износа подшипника скольжения в плоскости АА составило 5,7 мм;
- на основании полученных значений износа можно сделать вывод о необходимости ремонта/замены/технического обслуживания подшипников скольжения на данном сроке эксплуатации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмойлова Р.А. Теория статистики. М.: Финансы и статистика, 2010.
2. Responsible Conduct in Research. Northern Illinois University [Электронный ресурс]. URL: [https://ori.hhs.gov/education/products/n\\_illinois\\_u/datamanagement/dctopic.html](https://ori.hhs.gov/education/products/n_illinois_u/datamanagement/dctopic.html).
3. Samuel O.W., Asogbon G.M., Sangaiah A.K., Li G. Computational intelligence enabling the development of efficient clinical decision support systems: case study of heart failure. In Computational Intelligence for Multimedia Big Data on the Cloud with Engineering Applications. 2018. P. 123-133.
4. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь. М.: Дело. 2003. 520 с.
5. Описательная статистика. [Электронный ресурс]. URL: <http://soc-research.info/quantitative/6.html>.
6. Berger R.L., Casella G. Statistical inference. Duxbury [Электронный ресурс]. 2001. URL: [https://www.academia.edu/34751941/Casella\\_berger\\_statistical\\_inference](https://www.academia.edu/34751941/Casella_berger_statistical_inference).
7. Descriptive Statistics: Definition, Overview, Types, and Examples. Investopedia [Электронный ресурс]. URL: [https://www.investopedia.com/terms/d/descriptive\\_statistics.asp](https://www.investopedia.com/terms/d/descriptive_statistics.asp).
8. Илышев А. Общая теория статистики. [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://book.ru/book/951004>.
9. Lewis Nancy D., Lewis Nigel Da Costa, Lewis N. D. 100 Statistical Tests in R: What to Choose, how to Easily Calculate, with Over 300 Illustrations and Examples. Heather Hills Press. 2013.
10. Mishra P., Pandey C.M., Singh U., Gupta A., Sahu C., Keshri A. Descriptive statistics and normality tests for statistical data. Ann Card Anaesth. 2019. №22(1). P. 67-72. doi: 10.4103/aca.ACA\_157\_18. PMID: 30648682.
11. The Annals of Statistics 1979-01 [Электронный ресурс]. Vol. 7. URL: [https://archive.org/details/sim\\_annals-of-statistics\\_1979-01\\_7\\_1/page/n5/mode/2up](https://archive.org/details/sim_annals-of-statistics_1979-01_7_1/page/n5/mode/2up).
12. Frigge M., Hoaglin D.C., Iglewicz B. Some implementations of the boxplot // The American Statistician. 1989. №43(1). P.50-54.
13. Neideen T., Brasel K. Understanding statistical tests // Journal of surgical education, 2007. №64(2). P. 93-96.
14. Cleophas T.J., Zwinderman A.H., Cleophas T.J., Zwinderman A.H. Non-parametric tests // Statistical Analysis of Clinical Data on a Pocket Calculator: Statistics on a Pocket Calculator. 2011. P. 9-13.
15. Razali N.M., Wah Y.B. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests // Journal of statistical modeling and analytics. 2011. №2(1). P. 21-33.
16. Berger V.W., Zhou Y. Kolmogorov-smirnov test: Overview // Wiley statsref: Statistics reference online. 2014.
17. The Annals of Statistics 1979-01 [Электронный ресурс]. Vol 7. URL: [https://archive.org/details/sim\\_annals-of-statistics\\_1979-01\\_7\\_1/page/n5/mode/2up](https://archive.org/details/sim_annals-of-statistics_1979-01_7_1/page/n5/mode/2up).
18. Harwell M.R. Choosing between parametric and nonparametric tests // Journal of Counseling & Development. 1988. №67(1). P. 35-38.
19. Singh K., Xie M. Bootstrap: a statistical method. Unpublished manuscript, Rutgers University, USA. [Электронный ресурс]. 2008. URL: <http://www.stat.rutgers.edu/home/mxie/RCPapers/bootstrap.pdf>.
20. Hesterberg T. Bootstrap. Wiley Interdisciplinary Reviews // Computational Statistics. 2011. №3(6). P. 497-526.
21. Kwak S.G., Kim J.H. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics. Korean journal of anesthesiology. 2017. №70(2). P.144.

#### **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

#### **Иванов Олег Анатольевич**

Национальный исследовательский университет ИТМО  
Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.  
Студент  
E-mail: testinbox123@mail.ru

#### **Родичева Ирина Владимировна**

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

#### **Васильев Кирилл Владимирович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, г. Орёл, ул. Московская, д. 77

A.Yu. RODICHEV, O.A. IVANOV, I.V. RODICHEVA, K.V. VASILIEV

## STATISTICAL EVALUATION OF WEAR RESULTS OF BEARINGS OF THE BALANCE SUSPENSION OF THE KAMAZ VEHICLE

**Abstract.** The article presents a statistical assessment of the wear results of the sliding bearings of the balance beam suspension of the KAMAZ vehicle. Variants of statistical data processing are considered. Based on the measurements taken, four wear histograms were constructed and a corresponding probability density function of the normal distribution was imposed on each of them. Based on the analysis of the results of the statistical assessment of the state of the sliding bearings of the balance beam suspension of the KAMAZ vehicle, conclusions were made about the need for repair/replacement of the sliding bearings at this stage of their operation.

**Keywords:** statistical assessment, wear, balance beam suspension, plain bearing.

### BIBLIOGRAPHY

1. SHmoylova R.A. Teoriya statistiki. M.: Finansy i statistika, 2010.
2. Responsible Conduct in Research. Northern Illinois University [Elektronnyy resurs]. URL: [https://ori.hhs.gov/education/products/n\\_illinois\\_u/datamanagement/dctopic.html](https://ori.hhs.gov/education/products/n_illinois_u/datamanagement/dctopic.html).
3. Samuel O.W., Asogbon G.M., Sangaiah A.K., Li G. Computational intelligence enabling the development of efficient clinical decision support systems: case study of heart failure. In Computational Intelligence for Multimedia Big Data on the Cloud with Engineering Applications. 2018. R. 123-133.
4. Lopatnikov L.I. Ekonomiko-matematicheskiy slovar'. M.: Delo. 2003. 520 s.
5. Opisatel' naya statistika. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://soc-research.info/quantitative/6.html>.
6. Berger R.L., Casella G. Statistical inference. Duxbury [Elektronnyy resurs]. 2001. URL: [https://www.academia.edu/34751941/Casella\\_berger\\_statistical\\_inference](https://www.academia.edu/34751941/Casella_berger_statistical_inference).
7. Descriptive Statistics: Definition, Overview, Types, and Examples. Investopedia [Elektronnyy resurs]. URL: [https://www.investopedia.com/terms/d/descriptive\\_statistics.asp](https://www.investopedia.com/terms/d/descriptive_statistics.asp).
8. Ilyshev A. Obshchaya teoriya statistiki. [Elektronnyy resurs]. 2022. URL: <https://book.ru/book/951004>.
9. Lewis Nancy D., Lewis Nigel Da Costa, Lewis N. D. 100 Statistical Tests in R: What to Choose, how to Easily Calculate, with Over 300 Illustrations and Examples. Heather Hills Press. 2013.
10. Mishra P., Pandey C.M., Singh U., Gupta A., Sahu C., Keshri A. Descriptive statistics and normality tests for statistical data. Ann Card Anaesth. 2019. №22(1). R. 67-72. doi: 10.4103/aca.ACA\_157\_18. PMID: 30648682.
11. The Annals of Statistics 1979-01 [Elektronnyy resurs]. Vol. 7. URL: [https://archive.org/details/sim\\_annals-of-statistics\\_1979-01\\_7\\_1/page/n5/mode/2up](https://archive.org/details/sim_annals-of-statistics_1979-01_7_1/page/n5/mode/2up).
12. Frigge M., Hoaglin D.C., Iglewicz B. Some implementations of the boxplot // The American Statistician. 1989. №43(1). R. 50-54.
13. Neideen T., Brasel K. Understanding statistical tests // Journal of surgical education, 2007. №64(2). R. 93-96.
14. Cleophas T.J., Zwinderman A.H., Cleophas T.J., Zwinderman A.H. Non-parametric tests // Statistical Analysis of Clinical Data on a Pocket Calculator: Statistics on a Pocket Calculator. 2011. R. 9-13.
15. Razali N.M., Wah Y.B. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests // Journal of statistical modeling and analytics. 2011. №2(1). R. 21-33.
16. Berger V.W., Zhou Y. Kolmogorov-smirnov test: Overview // Wiley statsref: Statistics reference online. 2014.
17. The Annals of Statistics 1979-01 [Elektronnyy resurs]. Vol 7. URL: [https://archive.org/details/sim\\_annals-of-statistics\\_1979-01\\_7\\_1/page/n5/mode/2up](https://archive.org/details/sim_annals-of-statistics_1979-01_7_1/page/n5/mode/2up).
18. Harwell M.R. Choosing between parametric and nonparametric tests // Journal of Counseling & Development. 1988. №67(1). R. 35-38.
19. Singh K., Xie M. Bootstrap: a statistical method. Unpublished manuscript, Rutgers University, USA. [Elektronnyy resurs]. 2008. URL: <http://www.stat.rutgers.edu/home/mxie/RCPapers/bootstrap.pdf>.
20. Hesterberg T. Bootstrap. Wiley Interdisciplinary Reviews // Computational Statistics. 2011. №3(6). R. 497-526.
21. Kwak S.G., Kim J.H. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics. Korean journal of anesthesiology. 2017. №70(2). R.144.

**Rodichev Alekse Yrievich**  
Orel State University  
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: rodfox@yandex.ru

**Rodicheva Irina Vladimirovna**  
Orel State University  
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Postgraduate student  
E-mail: irina.rodicheva.rodicheva@yandex.ru

**Ivanov Oleg Anatolievich**  
National Research University ITMO  
Address: Russia, 197101, St. Petersburg, Kronverksky pr.  
Student  
E-mail: testinbox123@mail.ru

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

Научная статья  
УДК 378.147.88  
doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-88-96

Е.Н. ГРЯДУНОВА, А.В. ГОРИН, А.Д. СЕРЕБРЕННИКОВ

## ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА РОТОРА»

**Аннотация.** В статье обосновывается необходимость включения в учебный материал, предназначенный для подготовки к лабораторной работе, информации о практически используемых способах балансировки роторных систем на авторемонтных предприятиях. Для формирования профессиональных компетенций по балансировке роторной системы у обучающихся на автотранспортных направлениях подготовки была создана оптимальная схема проведения лабораторного практикума, включающая расчётный, экспериментальный и проверочный разделы.

**Ключевые слова:** высшее образование, лабораторная работа, профессиональные компетенции, балансировка ротора, автотранспорт

### Введение

О том, что правительство России волнует состояние современного высшего образования говорит Указ Президента РФ В.В. Путина от 12.05.2023 № 343 «О некоторых вопросах совершенствования системы высшего образования» [1]. Создание более гибкой и адаптивной системы высшего образования должно обеспечить российскую экономику специалистами, способными работать в сфере высоких технологий. В Едином плане по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года записано: «Спрос на доступное и качественное образование всех уровней формируется как со стороны экономики, так и со стороны граждан» [2, С. 3]. Создание целостной системы воспроизводства кадров высокой квалификации – цель высшего технического образования. Одной из важных форм организации обучения на технических направлениях подготовки в ВУЗ ах является - лабораторная работа, предназначенная для формирования общетехнических и профессиональных компетенций будущего инженера [3]. Проблемы содержания и методики подготовки студентов к использованию профессиональных компетенций, полученных в ходе выполнения лабораторных работ, остаются *актуальными* [4-8]. Требуется переработка имеющегося учебно-методического материала, разработка нового программно-методического обеспечения на более высоком техническом уровне.

В Институте имени Н.Н. Поликарпова ведется подготовка студентов по направлениям 23.03.01 Технология транспортных процессов, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов. В ходе обучения необходимо сформировать у обучающегося общепрофессиональные компетенции, регламентируемые ФГОС ВО [9] и профессиональные компетенции, которые определяются предприятием на основе профессиональных стандартов. Теоретическое обоснование и разработка методики подготовки студентов, обучающихся на автотранспортных специальностях, к готовности использовать компетенции, полученные в ходе выполнения лабораторной работы «Динамическое уравнивание ротора» в дальнейшей профессиональной деятельности – задача, поставленная авторами статьи. В учебно-методических пособиях [10, 11] и научной литературе [12-15] описаны методы балансировки вращающихся масс в частности роторных систем [16]. Новизна методики проведения аудиторного занятия по балансировке ротора состоит в установлении связей между теоретическим материалом, практической работой и будущей профессиональной деятельностью обучающегося.

Весь автомобильный транспорт имеет вращающиеся детали [17]. Скорости вращения различных деталей машин и приборов возрастают, возрастают динамические нагрузки и вибрации, вызванные неуравновешенными инерционными силами в машинах. Качественная балансировка увеличивает срок службы деталей машин, снижает расход топлива и уменьшает шум, ресурс мотора увеличивается как минимум на четверть [18-19].



Поэтому, к профессиональным компетенция транспортной отрасли относиться способность балансировки роторной системы.

**Материал и методы**

Для проведения натурной лабораторной работы на кафедре мехатроники, механики и робототехники имеется установка ТММ-35 (рис. 1). На массивной плите закреплены стойки, на которые устанавливается ротор, подключенный к фрикционному приводу. При изучении схемы установки, студент практически знакомится со стандартными деталями машин: сферическим шарикоподшипником (он установлен на левом краю стойки) и радиальный подшипник (он вмонтирован в каретке 6). В отчете по данной лабораторной работе содержится вопрос: объяснить причины применимости различных подшипниковых узлов при фиксации роторной системы. Для возможности поступательного движения вдоль вала каретка 6 установлена на роликах 8. Расчет силы упругости пружины 9 (натяжение которой можно регулировать винтами 10) для фиксации каретки в заданном положении, составляет часть лабораторной работы.



Рисунок 1 - Внешний вид учебной установки ТММ-35

На валу 1 могут вращаться пять дисков 4, изготовленных из алюминия (рис. 2). Для того, чтобы была возможность установки неуравновешенных грузов в пазы дисков, расстояние между дисками составляет 80 см.

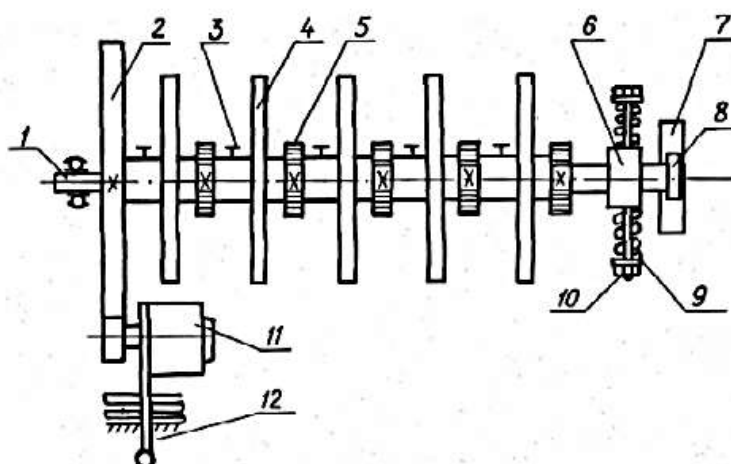


Рисунок 2 - Схема учебной установки ТММ-35

Для ограничения поступательного движения дисков по валу установлены кольца 5. Кроме того, эти диски служат для определения угла поворота дисков: они градуированы на 1 градус. При проведение данной лабораторной работы студент знакомится с типом монтажа двигателя. В данной установке осуществляется фрикционная передача между шкивом 2 и

фрикционным диском на входном валу двигателя. Расчет силы фрикционного прижатия, который на практике осуществляется посредством рычага 12, входит в теоретическую часть работы. Размыкания фрикционной передачи происходит за счет конструкции монтажа двигателя: под действием силы тяжести двигатель опускается вниз и контакт со шкивом нарушается. Электродвигатель рассчитан на стандартное напряжение тока - 220 В, скорость вращения – 6000 об/мин, полезная мощность на валу – 40 Вт. В методических рекомендациях по проведению данной лабораторной работы содержатся сведения о схеме установки, особенностях крепежных узлов, элементы прочностных расчетов деталей машин.

В качестве методов исследования использовались: педагогическое наблюдение за самостоятельной работой студентов, анализ содержания отчетов по результатам выполнения лабораторного практикума, свободный опрос студентов, выполняющих работу.

### Теория

Прежде всего, студента необходимо ознакомить с профессиональными терминами, используемыми при балансировке ротора. Контрольные тесты содержат вопросы: 1) что называется неуравновешенность ротора; 2) что называется дисбалансом ротора. Если первое понятие характеризует состояние ротора, то второе является физической величиной, которая согласно ГОСТУ 19534-74 [20] «равная произведению неуравновешенной массы на ее эксцентриситет». Часто в разговорной форме речи используют термины, не регламентированные ГОСТом, что не допустимо для дипломированного инженера. Так массу, используемую для уменьшения дисбаланса роторов, которая по ГОСТ 19534-74 [20] является *корректирующей*, неправильно называют балансировочной массой или грузом. Поэтому, методическое пособие по лабораторной работе должно содержать перечень все Государственных стандартов, используемых при устранении неуравновешенности роторной системы, а также глоссарий терминов и определений.

Далее, необходимо определиться с понятием вибрация: какие величины ее характеризуют и как они измеряются. Согласно Гост Р ИСО 20816-12021 (ISO 20816-1:2016 IDT) [21] в качестве величины, характеризующей вибрацию, используется:

- а) перемещение, в микрометрах (мкм);
- в) скорость, в миллиметрах на секунду (мм/с);
- с) ускорение, в метрах на секунду в квадрате ( $m/s^2$ ).

Чтобы избежать ошибок в интерпретации результатов измерений, следует четко определять, по какому параметру вибрации оценивают вибрационное состояние.

Для измерения параметров вибрации в контролируемых точках машины используют специальную виброаппаратуру. Необходимо заметить, что современные автоматические системы контроля вибрации (АСКВ), как правило, имеют модуль для расширенного анализа вибрации и модуль для мониторинга вибрации, т.е. обладают определёнными исследовательскими функциями. Кроме того, отдельные опытные образцы наделяются функциями автоматической диагностики и/или балансировочными модулями. Из производителей виброаппаратуры можно назвать такие зарубежные фирмы, как Brüel & Kjaer, Schenck, Phillips, Siemens. Из отечественного оборудования наиболее широкое распространение получили приборы НПЦ «ВиКонт», ООО «ДИАМЕХ 2000». Среди наиболее распространённых в настоящее время АСКВ можно назвать системы «Алмаз 7010» (ООО «ДИАМЕХ 2000»); ИТ14 (НПП «Измерительные технологии»); «Вибробит 300» (НПП «Вибробит»); «Каскад» (ООО НПЦ «ВиКонт»). На рисунке 3 представлены анализаторы вибрации, выпускаемые ООО «ДИАМЕХ 2000».



Рисунок 3 – Анализаторы вибрации, выпускаемые ООО «ДИАМЕХ 2000»  
Слева направо: «Агат-М», «Оникс», «Топаз», «Кварц»

Из курса теоретической механики студент знает, что при вращении тела имеет место касательная и нормальная сила инерции. При равномерном вращении касательная сила инерции равна нулю. Опасной силой инерции является нормальная, она не постоянна по направлению, вызывая раскачивания опор [22]. Например, коленчатый вал весом 20 кг, получив эксцентриситет 0,1 мм при угловой скорости вращения 600 рад/с приобретает нормальную центробежную силу инерции порядка 8 кН. Естественно, что такая нагрузка приводит к негативным последствиям воздействию на детали машины, на шасси, на кузов. При совпадении частот собственных колебаний некоторых частей конструкции машины и частоты колебаний, вызванных дисбалансом роторной системы, то есть при резонансе, данные части конструкции могут претерпеть разрушение. Неуравновешенные нормальные силы вызывают вибрацию механических частей механизма, что приводит к появлению стука (шума) и в некоторых случаях к поломке деталей. Поэтому, умение и владения способами устранения неуровновешенности вращающихся деталей является профессионально необходимым навыком.

Три вида неуровновешенности ротора представлены на рисунке 4. Для определения вида неуровновешенности ротора студент должен различать понятия – ось ротора и главная центральная ось инерции ротора. Статический дисбаланс ротора определяется параллельностью главной центральной осью инерции ротора и осью ротора. В данном случае нормальные силы инерции точечных масс приводятся к главному вектору сил. Если, главная центральная ось инерции не параллельна оси ротор и пересекает ось в его центре тяжести, тогда мы имеем дисбаланс моментов. Нормальные силы инерции приводятся к паре сил. Если, главная центральная ось инерции ротора пересекает ось ротора в любой точке отличной от центра тяжести ротора, в этом случае нормальные силы инерции точечных масс приводятся к главному вектору сил и главному моменту сил (винту), мы имеем динамический дисбаланс [23].

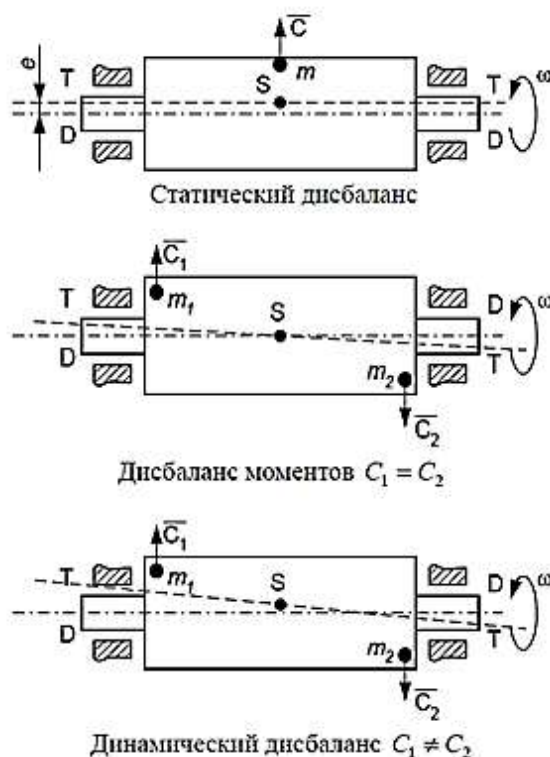


Рисунок 4 – Виды неуровновешенности роторов:

*e* - эксцентриситет; *S* - центр тяжести, *D-D* – ось вращения роторов, *T-T* – главная ось инерции

Лабораторная работа состоит из двух частей:

- 1) статическое уравнивание ротора;
- 2) динамическое уравнивание ротора.

Положение имеющих известных неуровновешенных масс  $m_1$   $m_2$   $m_3$  заданы радиус векторами  $r_1$   $r_2$ ,  $r_3$  и углами  $\alpha_1$   $\alpha_2$   $\alpha_3$ .

Схема статического уравнения ротора представлена на рисунке 5. Лабораторная работа состоит из двух частей:

- 1) статическое уравнивание ротора;
- 2) динамическое уравнивание ротора.

Положение имеющих известных неуравновешенных масс  $m_1, m_2, m_3$  заданы радиус векторами  $r_1, r_2, r_3$  и углами  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ .

Если ротор неуравновешен статически, то массу противовеса и координаты места его установки определяем из условия:

$$m_1 \cdot \bar{r}_1 + m_2 \cdot \bar{r}_2 + m_3 \cdot \bar{r}_3 + m_n \cdot \bar{r}_n = 0, \tag{1}$$

где  $m_n$  – масса противовеса, кг;

$\bar{r}_n$  – радиус вектор противовеса, м.

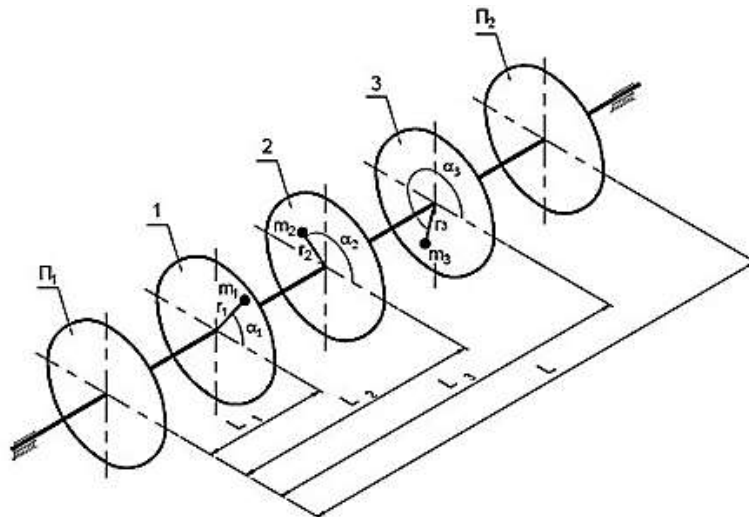


Рисунок 5 – Схема статического уравновешивания ротора

То есть, для статического уравновешивания ротора достаточно решить одно векторное уравнение.

Уравнение 1 можно решить аналитически, спроецировав на две взаимно перпендикулярные оси координат или графически. В данной лабораторной работе студенты применяют графический способ, построением силового многоугольника в выбранном масштабе (рис. 6).

Модуль замыкающего вектора многоугольника будет равен произведению  $m_n \cdot \bar{r}_n$ . Если есть в наличии противовесы определенной массы, то рассчитывается модуль радиус-вектора для конкретной массы. При этом необходимо учесть геометрические размеры роторной системы. Можно задаться местом установки дисбаланса, то есть  $r_n$  и рассчитать массу противовеса  $m_n$ . Угол ( $\alpha_n$ ) находим по теоретически построенному векторному многоугольнику (рис. 6). Противовес может быть установлен в любой плоскости, либо распределен по плоскостям. Студентам необходимо теоретически рассчитать величину  $m_n \cdot \bar{r}_n$ . Выбрать корректирующую массу из имеющихся в наличии и определить место установки данного грузика. Практически проверить уравновешенность роторной системы.

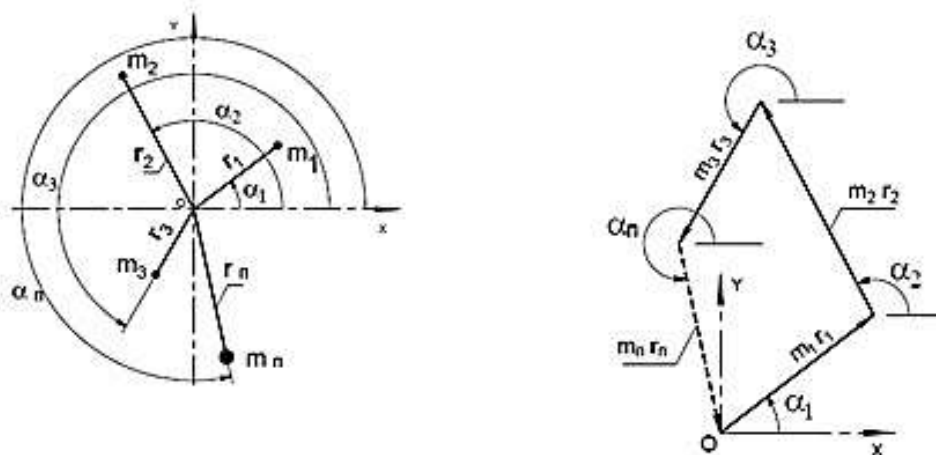


Рисунок 6 – Построение векторного многоугольника

При динамическом уравнивании ротора необходимо учесть расстояние между плоскостями:  $L_1, L_2, L_3$ . Для полного (динамического) уравнивания ротора необходимо установить два противовеса. Противовесы устанавливаются в плоскостях  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , расстояние между ними равно  $L$  (рис. 7). Обозначим:  $m_{n1}$  и  $m_{n2}$  – массы противовесов, устанавливаемых в плоскостях  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ ;  $\vec{r}_{n1}$  и  $\vec{r}_{n2}$  – радиус-векторы, определяющие радиальное положение противовесов;  $\alpha_{n1}$   $\alpha_{n2}$  – угловые координаты. Тогда условия (2) и (3) можно записать в форме:

$$m_1 \cdot \vec{r}_1 + m_2 \cdot \vec{r}_2 + m_3 \cdot \vec{r}_3 + m_{n1} \cdot \vec{r}_{n1} + m_{n2} \cdot \vec{r}_{n2} = 0 ; \quad (2)$$

$$m_1 \cdot \vec{r}_1 \cdot L_1 + m_2 \cdot \vec{r}_2 \cdot L_2 + m_3 \cdot \vec{r}_3 \cdot L_3 + m_{n1} \cdot \vec{r}_{n1} \cdot L_{n1} + m_{n2} \cdot \vec{r}_{n2} \cdot L_{n2} = 0 . \quad (3)$$

Студенты должны решить систему уравнений 2, 3 геометрическим способом: путем построения векторного многоугольника (рис. 7). Задаться корректирующими массами  $m_{n1}$  и  $m_{n2}$ , рассчитать длину радиус- вектора и установить противовесы в необходимых местах. Экспериментально убедится, что ротор сбалансирован.

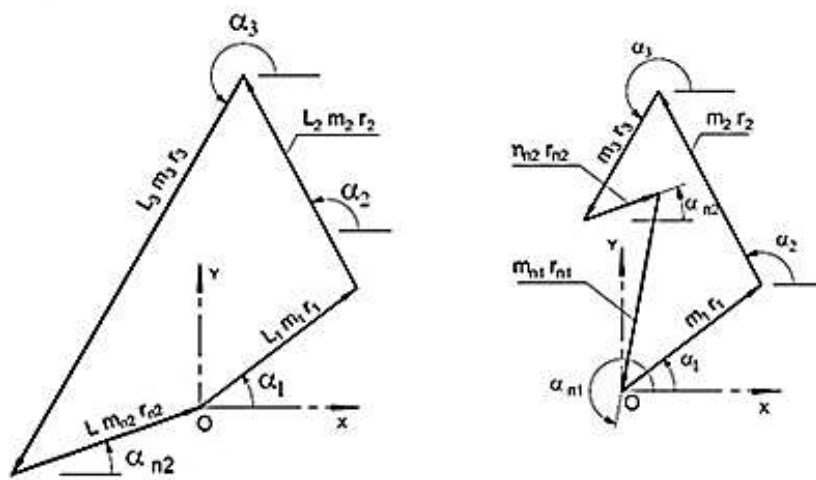


Рисунок 7 – Построение векторного многоугольника при динамической балансировке ротора

Необходимо обратить внимание студентов на то, что при расчете дисбалансов не учитывается угловая скорость вращения ротора.

### Результаты и обсуждение

В процессе выполнения лабораторных работ «динамическое уравнивание ротора» студенты имеют возможность проверить на практике свои теоретические знания: определение главной центральной оси инерции, формулы для расчета нормальной и вращательной силы инерций; получить навык векторного сложения векторов и применить его для практических целей, получить навык работы с измерительной аппаратурой для измерения вибраций. После проведения теоретических расчетов и практического эксперимента студенты письменно отвечают на вопросы. Примеры вопросов для данной лабораторной работы представлены на рисунке 8.

Вопросы содержат как теоретическую информацию (вопросы под номером № 1-3), так и практические сведения (вопросы № 4-6).

Таблица 1 - Примеры вопросов к лабораторной работе «Динамическое уравнивание ротора»

№	Вопросы к лабораторной работе
1	Что называется центробежным моментом масс?
2	Какая ось называется главной осью инерции?
3	Напишите условие статического уравнивания вращающегося звена.
4	В чем отличие жесткого ротора от гибкого?
5	Почему невозможно качественно отбалансировать ротор в двух плоскостях коррекции на низкочастотных станках?
6	Сколько пробных пусков требуется для уравнивания двухопорного ротора в двух плоскостях коррекции?

Письменный ответ позволяет студенту сформулировать свою мысль и зафиксировать ее в памяти.



### Выводы

Потребность к овладению будущими инженерами умениями и навыками балансировки вращающихся деталей приводит к необходимости наполнения лабораторной работы по балансировке роторов более подробным теоретическим материалом и использованию современного оборудования. Формирование профессиональной компетентности студентов осуществляется путем компетентностного подхода к организации обучения. Таким образом достигается единство их теоретической и практической подготовки к будущей профессиональной деятельности. Модель учебной экспериментально-практической деятельности студентов должна отражать специфику профессиональной специальности и ориентироваться на новые достижения техники и технологий. Повышение качества подготовки будущего инженера возможно путем внедрения в учебный процесс лабораторного практикума, ориентированного на получение и закрепление профессиональных компетенций. Лабораторная работа «Динамическая балансировка ротора» позволяет осуществить компетентностный подход в организации обучения в высшей школе и оценить степень владения профессиональными компетенциями учащимися.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О некоторых вопросах совершенства системы высшего образования: Указ Президента РФ от 12 мая 2023 г. №343 (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс] / URL: <https://ivo.garant.ru/#/basesearch/>
2. Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года; утв. распоряжением Правительства РФ от 01.10.2021 N 2765-р; с изм. от 24.12.2021 [Электронный ресурс] / URL: <https://sudact.ru/law/edinyi-plan-po>.
3. Грядунова Е.Н., Горина М.А., Родичева И.В. Лабораторная работа как средство приобретения профессиональных навыков у студентов транспортных специальностей // Мир транспорта и технологических машин. Научно-технический журнал Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. №4/75 2021. С. 90-97.
4. Сапрыкин И.И. Исследование виртуальных технологий лабораторного эксперимента в повышении эффективности обучения в вузах МЧС России [Электронный ресурс]: дис. ... канд. пед. наук. М., 2010. 164 с. URL: <https://www.disserscat.com/content/>.
5. Вялкова О.С. Формирование проектно - конструкторской компетентности будущих инженеров в образовательном процессе вуза [Электронный ресурс]: дис. ... канд. пед. наук, 2021.- 290с. URL: <https://www.disserscat.com/content/>.
6. Кожевникова Н.Ю. Лабораторные работы как метод практического закрепления знаний // Образование на современном этапе: тренды, инновации, перспективы. Екатеринбург. 2023. С.64-65.
7. Грядунова Е.Н., Родичев А.Ю., Горин А.В., Токмакова М.А. Частная методика проведения лабораторной работы для транспортных направлений подготовки // Мир транспорта и технологических машин. №1(68). Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. 2020. С. 94 -101.
8. Грядунова Е.Н., Савин Л.А., Горин А.В., Токмакова М.А. Методы компетентностного подхода в техническом образовании // Ученые записки Орловского Государственного университета. №1(86). Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. 2020. С. 159-163.
9. Об утверждении Федерального Государственного Образовательного Стандарта Высшего Образования – Бакалавриат на направлению подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов: Приказ от 7 августа 2020г. №911 [Электронный ресурс]. URL: <https://fgos.ru/fgos/fgos-23-03-01-tehnologiya-transportnyh>.
10. Динамическая балансировка роторов: электрон. метод. указания [Электронный ресурс]. Самара, 2012. URL: <http://repo.ssau.ru/handle/Methodicheskie-ukazaniya/>.
11. Анципорович П.П., Кудин В.В., Дубовская Е.М. Балансировка вращающихся масс: Учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Теория механизмов, машин и манипуляторов». Минск, БИТУ, 2012. 27 с.
12. Жердев А.В., Могутнов Р.В., Деенков А.С., Карлышев М.Е. Методика уравнивания силы инерции в двигателях различных компоновочных систем // Вызовы времени и ведущие мировые научные центры: Сборник статей Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Уфа. 2022. С. 41-43.
13. Хаймович А.И., Болотов М.А., Печенина Е.Ю. Модель виртуального уравнивания жестких роторов // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: сборник докладов Международной научно-технической конференции. Самара, 2021. С. 243-245.
14. Гутиева Н.А. Исследования динамической уравниваемости двигателя // Университетская наука №2 Северо-Кавказский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». №10. 2020. С. 40-44.
15. Мелешкин С.Н. Виртуальная лабораторная работа. Центровка многоопорного ротора паровой тур-



бины» в книге: ЭНЕРГИЯ-2018. Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». 2018. С. 20.

16. Немцев Д.А. Уменьшение сил инерции кривошипно-шатунного механизма // Инновационный потенциал развития общества: взгляды молодых ученых: Сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок. В 4 т. Курск. 2022. С. 291-294.

17. Сидоров М.В., Царев О.А., Еременко Н.И. Тракторы и автомобили. Конструкция автомобиля: Учебник. Старый Оскол, 2023. 231с.

18. Жердев А.В., Щепелев Е.Д., Конорев Д.В., Щербаков Е.Д. Способы уравнивания вибрационных процессов в двигателях различных компоновочных решений // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: Сборник научных трудов по материалам XXI Международной научно-практической конференции. 2020. С. 37-40.

19. Ерошенко В.Н. Дистанционные лабораторные работы // Проблемы современного педагогического образования. 2021. №72-4. С. 97-100.

20. ГОСТ 19534-74 Балансировка вращающихся тел. Термины. М.: Издательство стандартов. 1974. 49 с.

21. ГОСТ Р ИСО 20816-12:2021 (ISO 2088-16-1:216 IDT) Вибрация. Измерение вибрации оценка вибрационного состояния машин. Москва: Российский институт стандартизации, 2022. 28 с.

22. Березный О.В. Балансировка роторов в собственных корпусах при непостоянстве их частоты вращения: Дис. ... канд. техн. наук. Москва: Моск. гос. ун-т путей сообщения. 1998.

23. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1988. 640 с.

#### **Грядунова Елена Николаевна**

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: gryadunova6565@mail.ru

#### **Горин Андрей Владимирович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

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

E-mail: gorin57@mail.ru

#### **Серебренников Артем Дмитриевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

Студент

E-mail: silver57.93@mail.ru

---

E.N. GRYADUNOVA, A.V. GORIN, A.D. SEREBRENNIKOV

## **FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF STUDENTS WHEN PERFORMING LABORATORY WORK «DYNAMIC ROTOR BALANCING»**

***Abstract.** The article substantiates the need to include in educational material intended for preparation for laboratory work, information about practically used methods of balancing rotor systems at automobile repair enterprises. A model for organizing a laboratory workshop is presented, including computational, experimental and testing phases. An optimal scheme for conducting a laboratory lesson has been formed, which makes it possible to develop professional competencies in balancing the rotor system among students in motor transport training areas.*

***Keywords:** higher education, laboratory work, professional competencies, rotor balancing, motor transport*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. О некоторых вопросах совершенства системы высшего образования: Указ Президента РФ от 12 мая 2023 г. №343 (с изменениями и дополнениями) [Elektronnyy resurs] / URL: <https://ivo.garant.ru/#/basesearch/>

2. Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года; utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 01.10.2021 N 2765-r; s izm. ot 24.12.2021 [Elektronnyy resurs] / URL: <https://sudact.ru/law/edinyi-plan-po.>

3. Gryadunova E.N., Gorina M.A., Rodicheva I.V. Laboratornaya rabota kak sredstvo priobretenie professional'nykh navykov u studentov transportnykh spetsial'nostey // Mir transporta i tekhnologicheskikh ma-shin. Nauchno-tekhnicheskii zhurnal Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva. №4/75 2021. S. 90-97.
4. Saprykin I.I. Issledovanie virtual'nykh tekhnologiy laboratornogo eksperimenta v povyshenii effektivnosti obucheniya v vuzakh MCHS Rossii [Elektronnyy resurs]: dis. ... kand. ped. nauk. M., 2010. 164 s. URL: <https://www.dissercat.com/content/>.
5. Vyalkova O.S. Formirovanie proektno - konstruktorskoj kompetentnosti budushchikh inzhenerov v obrazovatel'nom protsesse vuzata [Elektronnyy resurs]: dis. ... kand. ped. nauk, 2021.- 290s. URL: <https://www.dissercat.com/content/>.
6. Kozhevnikova N.YU. Laboratornye raboty kak metod prakticheskogo zakrepleniya znaniy // Obrazovanie na sovremennoy etape: trendy, innovatsii, perspektivy. Ekaterburg, 2023. S.64-65.
7. Gryadunova E.N., Rodichev A.YU., Gorin A.V., Tokmakova M.A. Chastnaya metodika provedeniya laboratornoy raboty dlya transportnykh napravleniy podgotovki // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. №1(68). Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva. 2020. S. 94 -101.
8. Gryadunova E.N., Savin L.A., Gorin A.V., Tokmakova M.A. Metody kompetentnostnogo podkhoda v tekhnicheskoy obrazovanii // Uchenye zapiski Orlovskogo Gosudarstvennogo universiteta. №1(86). Orel: OGU ime-ni I.S. Turgeneva. 2020. S. 159-163.
9. Ob utverzhdenii Federal'nogo Gosudarstvennogo Obrazovatel'nogo Standarta Vysshego Obrazovaniya - Bakalavriat na napravleniyu podgotovki 23.03.01 Tekhnologiya transportnykh protsessov: Prikaz ot 7 avgusta 2020g. №911 [Elektronnyy resurs]. URL: <https://fgos.ru/fgos/fgos-23-03-01-tehnologiya-transportnyh>.
10. Dinamicheskaya balansirovka rotorov: elektron. metod. ukazaniya [Elektronnyy resurs]. Samara, 2012. URL: <http://repo.ssau.ru/handle/Metodicheskie-ukazaniya/>.
11. Antsiporovich P.P., Kudin V.V., Dubovskaya E.M. Balansirovka vrashchayushchikhsya mass: Uchebno-metodicheskoe posobie k laboratornym rabotam po distsipline "Teoriya mekhanizmov, mashin i manipulyatorov". Minsk, BITU, 2012. 27 s.
12. ZHerdev A.V., Mogutnov R.V., Deenkov A.S., Karlyshev M.E. Metodika uravnoveshivaniya sily iner-tsiy v dvigatelyakh razlichnykh komponovochnykh sistem // Vyzovy vremeni i vedushchie mirovye nauchnye tsen-try: Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2 ch. Ufa. 2022. S. 41-43.
13. Haymovich A.I., Bolotov M.A., Pechenina E.YU. Model' virtual'nogo uravnoveshivaniya zhestkikh rotorov // Problemy i perspektivy razvitiya dvigatelestroeniya: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Samara, 2021. S. 243-245.
14. Gutieva N.A. Issledovaniya dinamicheskoy uravnoveshennosti dvigatelya // Universitetskaya nauka №2 Severo-Kavkazskiy filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova". №10. 2020. S. 40-44.
15. Meleshkin S.N. Virtual'naya laboratornaya rabota. Tsentrovka mnogoopornogo rotora parovoy turbiny" v knige: ENERGIYA-2018. Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskii universitet imeni V.I. Le-nina". 2018. S. 20.
16. Nemtsev D.A. Umen'shenie sil inertsiy krivoshipno-shatunnogo mekhanizma // Innovatsionnyy potentsial razvitiya obshchestva: vzglyady molodykh uchenykh: Sbornik nauchnykh statey 3-y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii perspektivnykh razrabotok. V 4 t. Kursk. 2022. S. 291-294.
17. Sidorov M.V., Tsarev O.A., Eremenko N.I. Traktory i avtomobili. Konstruktsiya avtomobilya: Ucheb-nik. Staryy Oskol, 2023. 231s.
18. ZHerdev A.V., Shchepelev E.D., Konorev D.V., Shcherbakov E.D. Sposoby uravnoveshivaniya vibratsionnykh protsessov v dvigatelyakh razlichnykh komponovochnykh resheniy // Sovremennaya nauka: aktual'nye voprosy, do-stizheniya i innovatsii: Sbornik nauchnykh trudov po materialam XXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2020. S. 37-40.
19. Erovenko V.N. Distatsionnye laboratornye raboty // Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya. 2021. №72-4. S. 97-100.
20. GOST 19534-74 Balansirovka vrashchayushchikhsya tel. Terminy. M.: Izdatel'stvo standartov. 1974. 49 s.
21. GOST RISO 20816-12021(ISO 2088-16-1:216 IDT) Vibratsiya. Izmerenie vibratsii otsenka vibratsionnogo sostoyaniya mashin. Moskva: Rossiyskiy institut standartizatsii, 2022. 28 s.
22. Bereznyy O.V. Balansirovka rotorov v sobstvennykh korpusakh pri nepostoyanstve ikh chastoty vrashcheniya: Dis. ... kand. tekhn. nauk. Moskva: Mosk. gos. un-t putey soobshcheniya. 1998.
23. Artobolevskiy I.I. Teoriya mekhanizmov i mashin. M.: Nauka, 1988. 640 s.

**Gryadunova Elena Nikolaevna**  
Orel State University  
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Candidate of technical sciences  
E-mail: gryadunova6565@mail.ru

**Serebrennikov Artem Dmitrievich**  
Orel State University  
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Student  
E-mail: silver57.93@mail.ru

**Gorin Andrey Vladivirovich**  
Orel State University  
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Candidate of technical sciences  
E-mail: gorin57@mail.ru

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 621

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-97-103

Е.А. ШКАРПЕТКИН, В.А. ШАТАЛОВ, В.В. ВАСИЛЬЕВА, В. ЦЗИНВЭНЬ

### РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА В СФЕРЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

***Аннотация.** Интеллектуальные транспортные системы являются передовой технологией в области регулирования транспортных и пешеходных потоков. Реализация новых научных исследований в этой области позволяет развивать эту технологию и реализовывать новые функциональные возможности транспорта. Рассмотрена реализация функциональных возможностей беспилотного авто и аэро- транспорта в среде интеллектуальных транспортных систем. Предложено повышение качества ориентации беспилотного транспорта путем его взаимодействия с уже известными интеллектуальными транспортными системами.*

***Ключевые слова:** автомобильные дороги, безопасность движения, беспилотный транспорт, интеллектуальные транспортные системы, городская среда*

#### **Введение**

Эффективная и надежная система перевозок России позволяет получить уверенный и стабильный рост экономических показателей страны. Стабильное транспортное взаимодействие между регионами и крупными городскими центрами страны играет ключевую роль в успешном развитии основных сфер деятельности: промышленности, образования, науки, предпринимательства и социально-общественных сфер, тем самым улучшая динамику качества жизни граждан и создавая предпосылки для дальнейшего прогресса.

В высших учебных заведениях России проводятся научные исследования в области развития интеллектуальных транспортных систем. Среди них выделяются такие известные ВУЗы, как Московский автомобильно-дорожный государственный технологический университет (МАДИ), Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный институт, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) интеллектуальная система управления, использующая инновационные разработки в моделировании транспортных систем и регулировании транспортных потоков, интегрирующая современные информационные и телематические технологии и предназначенная для автоматизированного поиска и принятия к реализации максимально эффективных сценариев управления транспортно-дорожным комплексом региона, конкретным транспортным средством или группой транспортных средств с целью обеспечения заданной мобильности населения, максимизации показателей использования дорожной сети, повышения безопасности и эффективности транспортного процесса, комфорта для водителей и пользователей транспорта.

ИТС состоят из различных датчиков (температуры, атмосферного давления и т.д.), радаров и камер, предназначенных для анализа дорожной обстановки, единого центра принятия решений, разработанного для анализа получаемых данных с периферии.

Рассматриваемая интеллектуальная система способна на основе получаемой информации от своих сенсоров принять решение как обезопасить движение на определенных участках дороги или на автостраде в целом.

Глобальная цель построения и развития ИТС на автомобильных дорогах – создание системы мониторинга и управления транспортной системой в режиме реального времени для повышения качества транспортных услуг экономике и населению, снижения транспортных затрат, улучшения экологии и безопасности.

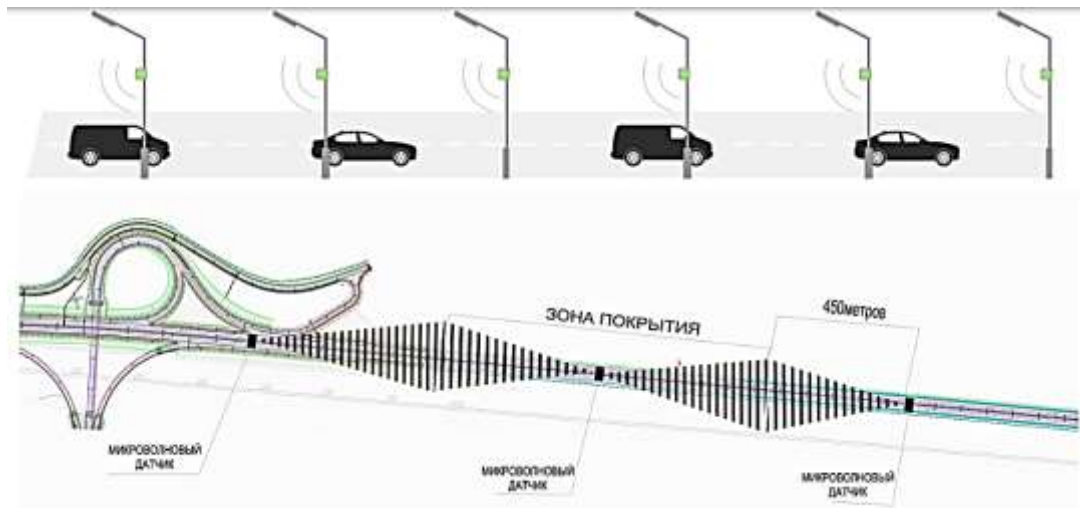
**Материал и методы**

Мировой опыт внедрения интеллектуальных транспортных систем показал, что они значительно повышают безопасность дорожного движения и одновременно улучшают качество работы региональных транспортных систем и автомобильного транспорта. Интеллектуальные транспортные системы предоставляют новые возможности для контроля за соблюдением правил дорожного движения, своевременного и точного информирования участников дорожного движения, оптимизации перевозок, распределения нагрузки на транспортную инфраструктуру, решения транспортных проблем городов, внедрения электронных платежей и снижения загрязнения окружающей среды.

Для того, чтобы технические решения по ИТС были согласованными не только внутри страны, но и на международном уровне, необходимо, чтобы государство разрабатывало и контролировало стандарты в этой сфере.

С ростом уровня автоматизации систем управления транспортными потоками в городах и других населенных пунктах, наблюдается тенденция к переходу к цифровому управлению транспортными потоками и полному интегрированию интеллектуальных транспортных средств в цифровую платформу. Это позволяет исключить человека из процесса управления транспортными потоками, делая их автоматизированными и безопасными для всех участников дорожного движения.

Для повышения эффективности работы беспилотного транспорта предлагается применять интеллектуальные транспортные системы. Данная связка позволит реализовать функциональные возможности беспилотного транспорта в черте города и за его пределами без вреда для жизни и здоровья человека и других живых существ.



**Рисунок 1 - Схема реализации зоны работы интеллектуальной транспортной системы**

На данной схеме (рис. 1) показан участок автостреды, на котором реализованная система ИТС. На каждом осветительном столбе находится комплекс датчиков, который считывает окружающую обстановку по различным параметрам. Получаемая информация передается в центр принятий решений и система принимает решение как перенаправлять потоки автотранспорта, на перекрестках исходя из загруженности дорог, о перекрытии полосы для движения, если на ней произошло ДТП или проводятся дорожные работы.

Беспилотный транспорт способен самостоятельно анализировать окружающую обстановку и принимать решения о дальнейших своих действиях. Но дальность работы датчиков беспилотника ограничены как своими параметрами, так и возможными внешними воздействиями (погода и т.п.). Предполагается, что ИТС будет расширять функциональные возможности беспилотного транспорта, что в свою очередь благоприятно скажется на логистических возможностях беспилотных грузоперевозок.

Однако, несмотря на наличие очевидных возможностей повышения качества и количества логистических возможностей беспилотного транспорта, остается актуальным вопрос о

целесообразности его внедрения в сферу логистики. Необходимо тщательно проанализировать логистические расходы, чтобы понять будет ли это экономически выгодно и оценить вероятность аварий на дорогах с участием беспилотных автомобилей.

Данный вопрос имеет большое значение, поскольку одной из основных целей автоматизации грузоперевозок - сокращение затрат, что, в свою очередь, приводит к снижению конечной себестоимости продукта. Поэтому исследование в сфере беспилотного транспорта приобретает особую важность, поскольку от этого зависит, на сколько товары их России будут конкурировать с мировым рынком.

### Теория

Рассмотрев мировой опыт в использовании беспилотного транспорта, можно предположить, что рост спроса на него к началу 2027 года среди российских компаний будет составлять 190 единиц. Предполагается, что такие компании как Ozon и Evocargo будут использовать беспилотные грузоперевозчики в целях логистики своих товаров. Для других компаний, например X5 RetailGroup в штат потребуется 7 машин, для Деловых линий около 13 штук, а для Почты России 25.

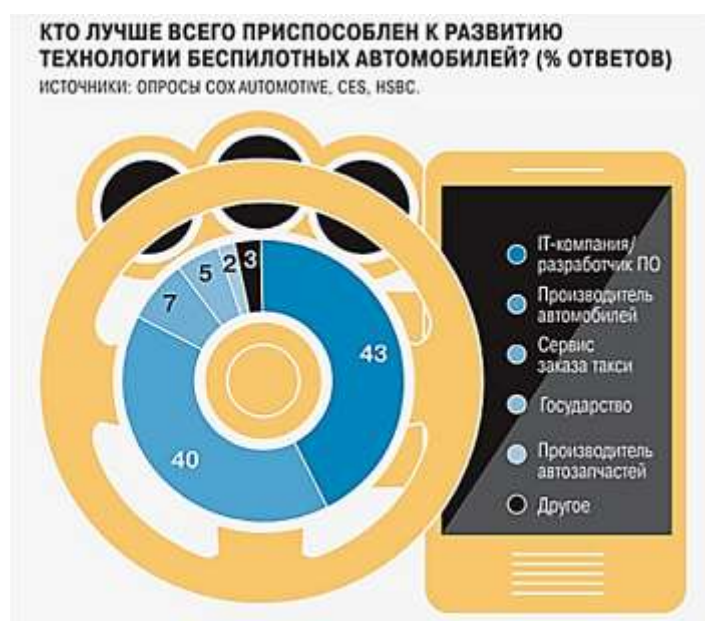


Рисунок 2 – Диаграмма развития беспилотного транспорта

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что развитие беспилотной логистики в России является востребованным направлением, а повышение безопасности передвижения такого автотранспорта значительно ускорит темп внедрения его в повседневную жизнь.

Одним из родоначальников применения беспилотного транспорта для доставки грузов является компания Яндекс. В штатном использовании у Яндекса находятся беспилотные транспортировщики типа «Ровер», данные роботизированные доставщики способны сами ориентироваться в пространстве при помощи встроенного лидара и по GPS связи со спутниками. «Ровер» способен анализировать окружающую обстановку и выбирать наиболее безопасные пути следования из точки А в точку Б.

На автостраде М11 «Нева» существуют специализированные участки дороги, по которым осуществляется беспилотное транспортирование грузов. В настоящее время по такому участку осуществляют движение 4 автоматизированных КАМАЗа, которые способны сами ориентироваться в пространстве и доставить груз без участия человека. Данные участки огорожены от основного транспортного потока, что позволяет обезопасить движение других водителей и пешеходов.

Вышеупомянутые беспилотные транспортные средства имеют собственные органы управления и принятия решения, такие как: LAS (lane-keepAssistSystem)- система, предназначенная для того, чтобы удерживать автомобиль в полосе его движения, BSAS



(BlindSpot)- система, которая анализирует слепые зоны и считывает дорожные знаки, LDWS (LaneDepartureWarningSustems) – система, позволяющая контролировать пересечение разметочных полос, а также системы экстренного торможения, но для повышения их потенциальных возможностей к самостоятельному движению предлагается применять связь беспилотника с уже известными интеллектуальными транспортными системами (ИТС).

Предполагается, что ИТС позволит расширить диапазон восприятия беспилотником окружающей среды и тем самым повысить безопасность его передвижения в городской среде. Беспилотное транспортное средство, въезжая в зону действия ИТС, будет подключаться к стационарным датчикам, и считывать информацию о дорожной ситуации, наличии пешеходных переходов, качестве дорожного покрытия и тд. Действия лидача и других встроенных датчиков беспилотного транспорта ограничены радиусом действия, а подключенный к системе ИТС беспилотник расширяет свою зону покрытия до площади работы ИТС, что повышает безопасность его передвижения.

### **Результаты**

На данный момент большинство проектов по внедрению транспорта с технологией беспилотного управления находятся в стадии активной разработки. Некоторые из них уже функционируют на ограниченных участках. Однако интерес бизнеса к использованию беспилотных грузовиков в современных условиях с каждым годом растёт, это свидетельствует о высокой востребованности этой технологии. В 2019 году только начинались испытания беспилотных грузоперевозок по трассе М11 между Москвой и Санкт-Петербургом. А в 2023 году уже четыре грузовика КАМАЗ начали движение по специализированному участку автостреды без участия водителя. К 2026 году планируется значительное увеличение числа беспилотных грузоперевозчиков.



Рисунок 3 – Диаграмма прогноза развития беспилотного транспорта на основе роботакси

В ходе исследования зарубежного опыта, можно предположить, что использование беспилотного транспорта на дорогах поможет сократить количество ДТП, тем самым значительно снизится уровень смертности на дорогах. Однако в России пока нет точных данных о том, как автомобиль без водителя может вести себя на наших дорогах. В логистике применение беспилотных технологий может принести экономическую выгоду за счёт увеличения рабочего времени, снижения рисков заболеваний водителей и так далее.

### **Обсуждение**

В ходе исследования была установлена целесообразность применения беспилотного транспорта в сфере интеллектуальных транспортных систем с целью повышения их автономности и безопасности передвижения, повышения рентабельности беспилотных грузоперевозок.



### **Выводы**

Разработанная модель беспилотного транспорта в сфере интеллектуальных транспортных систем позволяет повысить безопасность передвижения беспилотного транспорта и обеспечить рост интенсивности внедрения беспилотников в повседневную транспортную жизнь городов и других населенных пунктов.

Для обеспечения скорейшего внедрения связки беспилотник - ИТС необходимо проводить повышение квалификации в отечественных ВУЗах, совершенствовать качество подготовки кадров в области ИТС, а так же стажироваться в ведущих иностранных научных и образовательных организациях, которые активно внедряют данную связку.

Одной из приоритетных задач является развитие и осуществление партнерских взаимоотношений с ведущими зарубежными университетами, специализирующихся на обучении и подготовке студентов в области ИТС.

### **Благодарности**

*Работа выполнена в рамках проекта СП2-4/3-2024 «Разработка инновационных решений по селективной переработке техногенных отходов для создания комфортной среды проживания» реализации мероприятий Программы развития БГТУ им В.Г. Шухова на 2021-2030 гг. «Приоритет 2030»*

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Андреев Н.А. Перспективы применения беспилотного транспорта в России // Отходы и ресурсы. 2023. Т. 10. №1. DOI 10.15862/42ECOR123.
2. Зомарев А., Роженко М. Как беспилотный транспорт меняет облик наших городов? // Форсайт. 2020. Т. 14. №1. С. 70-84. DOI 10.17323/2500-2597.2020.1.70.84.
3. Тимошенко О.Б., Азаров А.В., Кириери Е.М., Енна Е.С. Беспилотный транспорт будущего // Молодой ученый. 2019. №8-2(246). С. 44-46.
4. Зелова М.И., Комаров А.В. Беспилотные технологии на транспорте. Перспективы развития // Молодая наука Сибири. 2021. №2(12). С. 86-91.
5. Гулый И.М. Применение беспилотных летательных аппаратов на железнодорожном транспорте // Транспортное дело России. 2022. №6. С. 133-134. DOI 10.52375/20728689\_2022\_6\_133.
6. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.
7. Дорохин С.В., Азарова Н.А., Рудь В.А. Проблемы и перспективы использования беспилотного транспорта на дорогах крупных городов РФ // Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе перспективных технологий и научно-технических решений: материалы Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. 2022. С. 64-66. DOI 10.58168/PRTOW2022\_64-66.
8. Тодьякова С.Б., Плотникова К.К., Ащеулов А.С., Ащеулова А.С. Беспилотный транспорт // Россия молодая: Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. 2021. С. 523371-523373.
9. Бондарева А.А., Паршина Л.Н. Перспективы применения беспилотного транспорта в России // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2021. Т. 1. С. 127-130.
10. Рязанов Н.С. Актуальные вопросы уголовно-правового обеспечения безопасного использования беспилотного транспорта // Правовая мысль. 2020. №1(1). С. 80-83.
11. 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.
12. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учебное пособие. Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2016. 104с.
13. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Васильева В.В. Внедрение интеллектуальной транспортной системы RampMetering на примере г. Белгород // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №4(63). С. 42-48.
14. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. 2011. №1(32). С. 54-59.
15. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of new-generation anti-icing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // Transportation Research Procedia. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.

16. Kulmala R., Noukka M. Raiting the objectives. Finland's ITS strategy to 2010 // Traffic technology international. 1998. P. 62-66.

17. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Kambur A. The use of information technology «Auto – Intellect» to improve the quality of traffic management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021.

18. Кулева Н.С., Кулев А.В., Кулев М.В., Ломакин Д.О. Разработка методики определения количества и класса транспортных средств на маршруте // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №4(75). С. 67-73. DOI 10.33979/2073-7432-2021-75-4-67-73.

19. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.

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.

**Шкарпеткин Евгений Александрович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов

E-mail: jonick86@inbox.ru

**Шаталов Владислав Алексеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Аспирант

E-mail: vladislav-shatalov@mail.ru.

**Васильева Виктория Владимировна**

Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева

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

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

E-mail: vivaorel57@gmail.com

**Ван Цзинвэнь**

Донской институт ШТУ-ДГТУ Шаньдунского транспортного университета

Адрес: Китай, Цзинань, Хайтан Роуд 5001

Старший преподаватель

E-mail: 1161710683@qq.com

---

E.A. SHKARPETKIN, V.A. SHATALOV, V.V. VASILYEVA, V. JINGWEN

**IMPLEMENTATION OF THE FUNCTIONALITY OF UNMANNED VEHICLES IN THE FIELD OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS**

***Abstract.** Intelligent transport systems are an advanced technology in the field of regulating traffic and pedestrian flows. And the implementation of new scientific research in this area allows us to develop this technology and implement new transport functionality. The implementation of the functionality of unmanned vehicles and aero-transport in the environment of intelligent transport systems is considered. It is proposed to improve the orientation quality of unmanned vehicles through its interaction with already known intelligent transport systems.*

***Keywords:** highways, traffic safety, unmanned vehicles, intelligent transport systems, urban environment*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Andreev N.A. Perspektivy primeneniya bespilotnogo transporta v Rossii // Otkhody i resursy. 2023. Т. 10. №1. DOI 10.15862/42ECOR123.

2. Zomarev A., Rozhenko M. Kak bespilotnyy transport menyaet oblik nashikh gorodov? // Forsayt. 2020. Т. 14. №1. S. 70-84. DOI 10.17323/2500-2597.2020.1.70.84.

3. Timoshenko O.B., Azarov A.V., Kirieri E.M., Enna E.S. Bespilotnyy transport budushchego // Molodoy ucheny. 2019. №8-2(246). S. 44-46.

4. Zelova M.I., Komarov A.V. Bespilotnye tekhnologii na transporte. Perspektivy razvitiya // Molodaya nauka

Sibiri. 2021. №2(12). S. 86-91.

5. Gulyy I.M. Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov na zhelezodorozhnom transporte // *Transportnoe delo Rossii*. 2022. №6. S. 133-134. DOI 10.52375/20728689\_2022\_6\_133.

6. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.

7. Dorokhin S.V., Azarova N.A., Rud' V.A. Problemy i perspektivy ispol'zovaniya bespilotnogo transporta na dorogakh krupnykh gorodov RF // *Problemy ekspluatatsii avtomobil'nogo transporta i puti ikh resheniya na osnove perspektivnykh tekhnologii i nauchno-tekhnicheskikh resheniy: materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet im. G.F. Morozova. 2022. S. 64-66. DOI 10.58168/PRTOW2022\_64-66.

8. Todyyakova S.B., Plotnikova K.K., Ashcheulov A.S., Ashcheulova A.S. Bespilotnyy transport // *Rossiya molodaya: Sbornik materialov XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva. 2021. S. 523371-523373.

9. Bondareva A.A., Parshina L.N. Perspektivy primeneniya bespilotnogo transporta v Rossii // *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*. 2021. T. 1. S. 127-130.

10. Ryazanov N.S. Aktual'nye voprosy ugolovno-pravovogo obespecheniya bezopasnogo ispol'zovaniya bespilotnogo transporta // *Pravovaya mysl'*. 2020. №1(1). S. 80-83.

11. 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.

12. ZHankaziev S.V. Razrabotka proektov intellektual'nykh transportnykh sistem: uchebnoe posobie. Moskva: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet (MADI), 2016. 104s.

13. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Vasil'eva V.V. Vnedrenie intellektual'noy transportnoy sistemy RampMetering na primere g. Belgorod // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2018. №4(63). S. 42-48.

14. Zyryanov V.V., Kocherga V.G., Pozdnyakov M.N. Sovremennye podkhody k razrabotke kompleksnykh skhem organizatsii dorozhnogo dvizheniya // *Transport Rossiyskoy Federatsii*. 2011. №1(32). S. 54-59.

15. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of new-generation anti-icing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // *Transportation Research Procedia*. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.

16. Kulmala R., Noukka M. Raiting the objectives. Finland's ITS strategy to 2010 // *Traffic technology international*. 1998. P. 62-66.

17. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Kambur A. The use of information technology «Auto – Intellect» to improve the quality of traffic management // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2021.

18. Kuleva N.S., Kulev A.V., Kulev M.V., Lomakin D.O. Razrabotka metodiki opredeleniya kolichestva i klassa transportnykh sredstv na marshrute // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2021. №4(75). S. 67-73. DOI 10.33979/2073-7432-2021-75-4-67-73.

19. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.

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.

**Shkarpetkin Evgeny Alexandrovich**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova Str., 46  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: jonick86@inbox.ru

**Vasilyeva Victoria Vladimirovna**

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

**Shatalov Vladislav Alekseevich**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova Str., 46  
Postgraduate student  
E-mail: vladislav-shatalov@mail.ru

**Wang Jingwen**

Shandong Transport University  
Address: 5001, China, Jinan, Haitang Road  
Senior Lecturer  
E-mail: 1161710683@qq.com

Научная статья

УДК 656.051

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-104-111

В.В. ЗЫРЯНОВ, Г. АОХУА, Ю.Н. ЛИННИК, М.В. КУЛЕВ

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ НА АВТОМАГИСТРАЛЯХ**

***Аннотация.** В статье приведен анализ применения систем управления скоростными режимами в различных странах. Установлено, что в результате применения таких систем повышается пропускная способность, сохраняется стабильная скорость, повышается безопасность движения. В соответствии с пространственно-временными признаками описаны три типа алгоритмов управления. Показаны особенности реализации этих алгоритмов. Обоснована роль моделирования транспортных потоков при выборе методов управления. По результатам моделирования приведены параметры эффективности.*

***Ключевые слова:** транспортный поток, скорость, динамическое управление, моделирование*

### **Введение**

Интеллектуальные транспортные системы предоставляют широкие возможности использования различных методов управления скоростными режимами. Одним из актуальных направлений в этой сфере является переменное ограничение скорости (Variable Speed Limit – VSL) [1-4]. Переменное ограничение скорости осуществляется в быстро меняющейся среде для поддержания равномерного стиля вождения в целях повышения безопасности дорожного движения, снижения последствий заторов, сокращения выбросов. Системы переменного ограничения скорости используют информацию о транспортной нагрузке на смежных участках дороги, скорости движения, погодных условиях для определения оптимальной скорости, с которой должны двигаться водители не только в зоне управления, но и на подходах к ней. Это достигается в том числе за счет введения ограничения скорости в определенной зоне, чтобы ограничить доступ автомобилей к узкому месту. В этом случае может поддерживаться более высокая пропускная способность за счет стабильности транспортного потока.

Повышение безопасности дорожного движения при внедрении этого метода управления происходит за счет стабилизации скоростного режима. Это уменьшение дисперсии скорости синхронизирует поведение водителей тем самым снижая вероятность столкновений. Это важно поскольку при высокой интенсивности движения любые возмущения в транспортном потоке могут привести к возникновению заторов. За счет динамического управления скоростью можно восстановить ситуацию, уменьшая интенсивность движения на входе в узкое место. В совокупности это также приводит к сокращению расхода топлива и снижению выбросов. Эффективность этого метода подтверждена на практике в Англии, Германии, Нидерландах, США, КНР. Эффективность VSL выражается в сокращении времени поездки, повышению пропускной способности в узких местах, снижению аварийности, сокращению токсичных выбросов [5-9].

Системы переменного управления скоростью по их целевой направленности можно разделить на два основных типа: как подсистема в системе управления инцидентами и как подсистема автоматизированной системы управления дорожным движением. В первом случае основной целью является ликвидацию заторов, вызванных инцидентом, а во втором – стабилизация скоростного режима для поддержания пропускной способности. Это различие сказывается и на алгоритмах управления. В системах управления инцидентами применяются более резкие изменения ограничения скорости, а в АСУДД происходит постепенное ограничение скорости.

Несмотря на такой опыт применения систем динамического управления скоростными режимами на автомагистралях существуют определенные проблемы при их внедрении. Одна из основных проблем заключается в неоднозначности возможных решений, когда нет единственного ответа, а практически для любой ситуации требуется решение самостоятельной задачи. Требуется обеспечить компромисс между временем поездки, пропускной способностью, возможностью контроля за выполнением принятого решения при обеспечении безопасности дорожного движения.

### Материал и методы

Решить задачи оценки влияния гибкого ограничения скорости на изменение условий дорожного движения и осуществить выбор оптимальных параметров управления затруднительно на основе имеющихся до реализации этих алгоритмов управления фактических данных. Это является типичной проблемой при исследовании транспортных потоков для таких изменяющихся ситуаций. В реальных условиях достаточно сложно обеспечить условия для контролируемого эксперимента с заданными значениями параметров транспортных потоков.

Применение различных типов моделирования дорожного движения предоставляет новые возможности при разработке различных алгоритмов динамического управления скоростью на автомагистралях, проектирования автоматизированных систем управления дорожным движением, прогнозирования состояния транспортного потока в процессе реализации гибкого управления скоростью. На первом этапе развития для этих целей применялись макромоделли потока с использованием зависимостей между интенсивностью, скоростью и плотностью транспортного потока, поэтому важнейшим условием для эффективного управления является выбор типа макромоделли, обеспечивающей получение адекватных результатов [10, 11]. Обычно использовались двухрежимные модели с различными зависимостями между скоростью и плотностью при изменении состояния транспортного потока. В качестве примера можно привести модель Н.Ву [12]:

для свободных условий движения при  $k < k_1$

$$k_1 = \left( v_p h_f + \frac{1}{k_j} \right)^{-1}; \quad (1)$$

$$v = P_f v_f + (1 - P_f) v_p; \quad (2)$$

$$P_f = 1 - \frac{k}{k_1}, \quad (3)$$

для условий движения при высокой плотности при  $k > k_2$

$$k_2 = \left( v_p h_c + \frac{1}{k_j} \right)^{-1}; \quad (4)$$

$$v = \frac{1}{h_c} \left( \frac{1}{k} - \frac{1}{k_j} \right), \quad (5)$$

где  $k$  – плотность транспортного потока, авт./км;

$k_1$  – плотность на границе области свободного состояния потока, авт./км;

$k_2$  – плотность при переходе к плотному потоку, авт./км;

$k_j$  – максимальная плотность потока, авт./км;

$v$  – скорость, км/час;

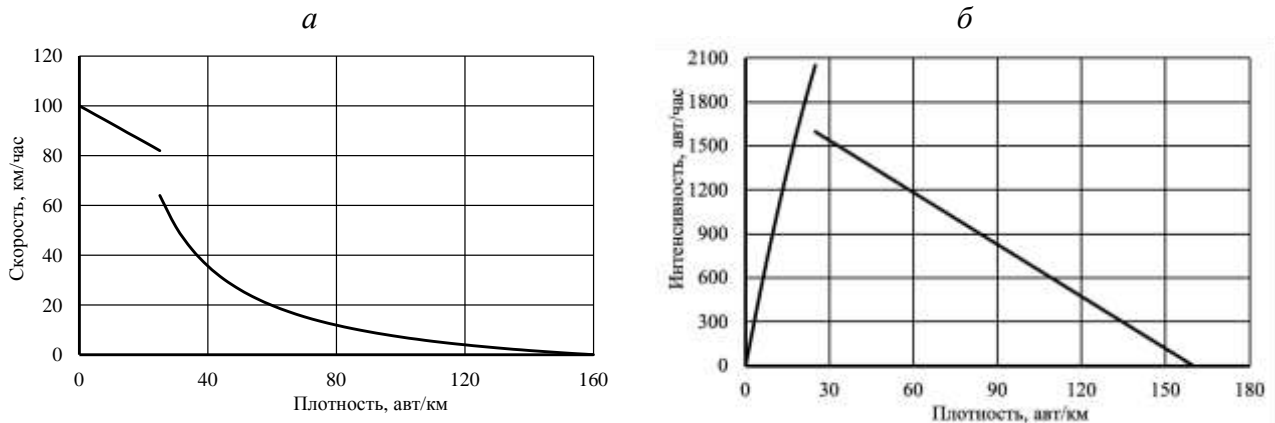
$h_f, h_c$  – интервал между автомобилями соответственно на границах зон свободного движения и плотного потока.

### Теория

На рисунке 1 приведена зависимость между скоростью и плотностью и основная диаграмма транспортного потока, построенные по приведенной модели. Преимуществом данного подхода для динамического управления скоростью является резкое изменение скорости и интенсивности при изменении состояния потока.

С использованием макромоделей по расчетным значениям скорости и интенсивности для зоны управления определяются граничные условия по транспортной нагрузке и скорости движения для введения динамического управления скоростью.

Однако в настоящее время, в основном, макромоделли используются как составная часть динамических макромоделей, которые позволяют прогнозировать изменение состояния потока на последовательных участках дороги за определенные промежутки времени [13, 14].



**Рисунок 1 – двухрежимная зависимость между скоростью и плотностью (а) и соответствующая основная диаграмма транспортного потока (б)**

Такой подход используется в автоматизированных системах управления дорожным движением и скорость определяется по следующему уравнению:

$$v_i(t + 1) = v_i(t) + v_r - v_c - v_a, \tag{6}$$

где  $v$  – скорость транспортного потока, км/ч;

$v_r$  – параметр релаксации;

$v_c$  – параметр конвекции;

$v_a$  – параметр антиципации;

$i$  – номер участка дороги;

$t$  – шаг моделирования.

Параметры релаксации, конвекции и антиципации определяются следующим образом:

$$v_r = v_i(t) + \frac{1}{\tau} \{V[k_i(t)] - v_i(t)\}, \tag{7}$$

$$v_c = \frac{T}{l_i} v_i(t) [\alpha v_{i-2}(t) + (1-\alpha)v_{i-1}(t) - v_i(t)], \tag{8}$$

$$v_a = \frac{\vartheta T}{\tau l_i} \frac{k_{i+1}(t) - k_i(t)}{k_i(t) + \kappa}, \tag{9}$$

где  $V$  – скорость при плотности  $k$  на участке  $i$  определяемая по классической макромоделли, км/ч;

$\tau$  – коэффициент релаксации, ч;

$\upsilon$  – коэффициент антиципации, км<sup>2</sup>/ч;

$l$  – длина  $i$  – го участка, км.

Физический смысл параметров модели заключается в следующем: параметр релаксации отражает стремление водителя двигаться со скоростью, соответствующей оптимальной для данной плотности транспортного потока; параметр конвекции учитывает влияние смежных участков на состояние потока на участке управления; параметр антиципации показывает влияние изменения плотности потока на предыдущем участке на скорость на текущем участке.

С расширением функциональных возможностей микромоделирования, особенно в части применения для решения прикладных задач, стали активно исследоваться алгоритмы управления дорожным движением. Микромоделирование позволяет совершенствовать активные методы управления, при которых прогнозируется состояние транспортного потока, выявляются узкие места и по этой информации система управления назначает оптимальные скоростные режимы [15, 16]. Это особенно важно в условиях, когда управление скоростным режимом осуществляется передачей информации всем автомобилям в зоне управления все, автомобили одновременно реагируют на рекомендации по изменению скорости и выполнению стратегии управления происходит оперативно и эффективно. Естественно, что выполне-

ние таких алгоритмов управления должно поддерживаться технологиями интеллектуальных транспортных систем  $v2v$  (автомобиль-автомобилю) и  $v2i$  (автомобиль-инфраструктура) [17, 18]. Использование автономных автомобилей обеспечивает постоянный информационный обмен как с дорожной инфраструктурой, так и с другими транспортными средствами и это приведет к более детерминированному взаимодействию ИТС с транспортными средствами. Требования по ограничению скорости могут отправляться каждому отдельному автономному транспортному средству, и они будут принудительно двигаться в рамках ограничений. Динамическое управление скоростью используется также для ограничения интенсивности движения на подходах к узким местам в случае возникновения заторов. Именно для этих условий в наибольшей степени проявляется эффективность метода управления, при котором изменение скоростного режима происходит одновременно на всем участке дороги.

### Результаты

Для исследования алгоритма динамического управления скоростью с передачей информации всем автомобилям одновременно было использовано микро моделирование. При моделировании регистрировались и анализировались основные параметры транспортного потока - интенсивность движения, скорость, время движения и задержки. На рисунке 2 приведен фрагмент участка моделирования.

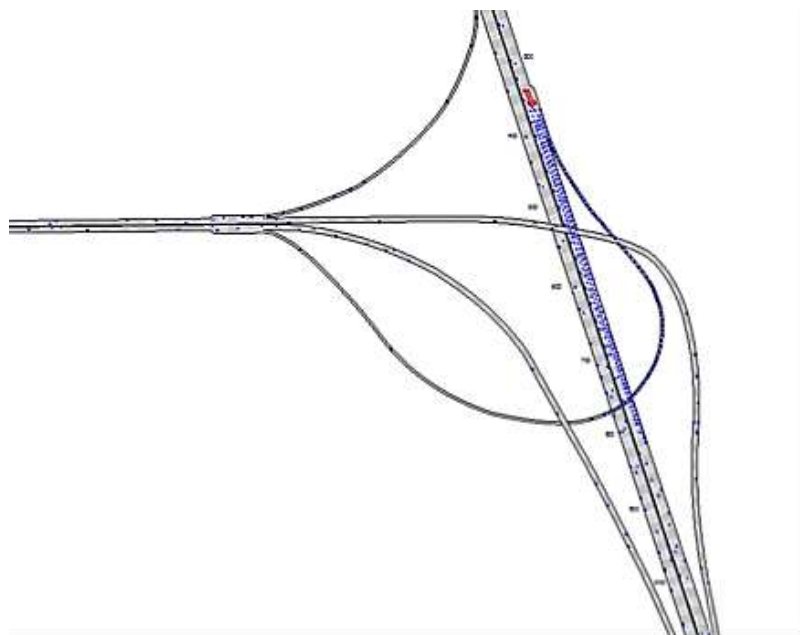


Рисунок 2 – Фрагмент участка дороги для моделирования

Сущность динамического управления скоростными режимами в сложных условиях состоит в контроле параметров транспортного потока до узкого участка дороги и применении соответствующих алгоритмов управления для того, чтобы избежать снижения пропускной способности и блокирования въездов\съездов. Обычно критериями оптимального управления выступают интенсивность движения в узком месте поскольку одной из целей динамического управления скоростью является поддержание интенсивности движения в зоне приближения к пропускной способности. Необходимо также рассматривать возможность уменьшения времени поездки и обеспечения стабильного скоростного режима для повышения безопасности дорожного движения. В качестве критерия выбора оптимального ограничения скорости используется следующая целевая функция [3]:

$$F = T \sum_{j=1}^{N_p-1} \sum_{i=1}^M l_i s_i [\alpha_T k_i(t+j) - \alpha_D k_i(t+j)v_i(t+j)], \quad (10)$$

где  $F$  – целевая функция;

$\alpha_T, \alpha_D$  – весовые коэффициенты соответственно для времени поездки и интенсивности движения;

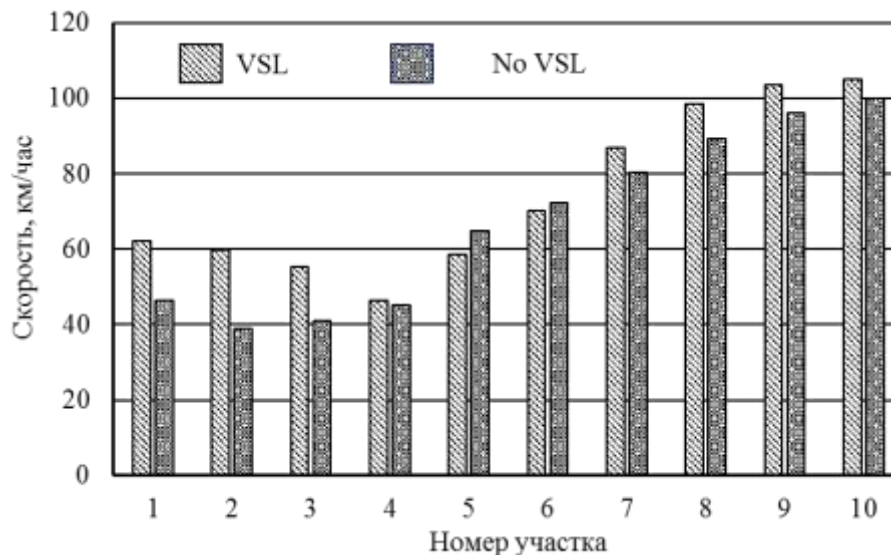
$k$  – плотность транспортного потока;



- $v$  – скорость транспортного потока;
- $l$  – число полос;
- $s$  – длина участка дороги;
- $i$  – номер участка дороги;
- $t$  – момент времени;
- $j$  – горизонт прогнозирования.

При использовании этого подхода также необходимо учитывать ограничения на различные рекомендуемой скорости движения на соседних участках дороги и время принятия решения для перехода к новому скоростному режиму.

Результаты моделирования показывающие сравнительные данные изменения скорости приведены на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Изменение скорости в сложных условиях при использовании динамического управления скоростью (Номер участка показывает удаление от узкого места)**

При отсутствии динамического управления скоростными режимами особенно резкое различие проявляется на участках, непосредственно примыкающих к узкому месту. Результаты моделирования приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Оценка эффективности динамического управления скоростью**

Характеристики транспортных потоков	При динамическом регулировании скорости	Без динамического регулирования	Разница, %
Интенсивность движения, авт./ч	3300	3350	-1,49
Плотность, авт/км	9,95	12,39	-19,7
Скорость, км/ч	92,2	86,1	+7,57
Коэффициент вариации скорости, %	29,6	32,8	-9,6
Время поездки, с/км	52,2	65,9	-8,2
Отношение времени остановки ко времени движения	0,22	0,32	-9,97

**Обсуждение**

Приведенные в таблице 1 результаты совпадают с данными, полученными другими исследователями. Анализ результатов работ по исследованию динамического управления скоростью показывает, что скорость движения увеличивается на 2-9 % с соответствующим по уровню снижением времени поездки. По результатам моделирования получены результаты, входящие в эти границы, скорость движения увеличилась на 7,57 %, время движения при работе VSL в сложных условиях сократилось на 8,2 %. Следовательно, полученные результаты являются сопоставимыми с другими исследованиями и могут применяться для анализа

различных алгоритмов динамического управления скоростью.

Микромоделирование также позволило получить такие важные параметры как число остановок и коэффициент вариации скорости, а это те показатели, которые характеризуют неравномерность скоростного режима. Значительное уменьшения числа остановок и коэффициента вариации скорости транспортного потока показывают, что динамическое управление скоростными режимами приводит к снижению неравномерности движения. Очевидно, что за счет этого сокращается число конфликтных ситуаций и дорожно-транспортных происшествий.

### **Вывод**

Таким образом динамическое управление скоростными режимами в сложных условиях движения на автомагистралях является одним из важнейших условий снижения последствий заторовых ситуаций и повышения безопасности дорожного движения. Многообразие и сложность возможных ситуаций требуют предварительного использования моделирования при обосновании и выборе алгоритмов управления. Результаты моделирования показывают, что такие методы управления способствуют стабилизации скоростного режима, снижению числа остановок и времени задержки. Перспективным является использование микромоделирования для исследования методов динамического управления скоростными режимами в условиях кооперативных интеллектуальных транспортных систем.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Li Z., Xu C., Pu Z., Guo Y., Liu P. Reinforcement Learning-Based Variable Speed Limits Control to Reduce Crash Risks near Traffic Oscillations on Freeways // *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.* 2020. №13. P. 64-70. doi.org/10.1109/MITS.2019.2907631.
2. Зырянов В.В., Левандовский В.В. Анализ подходов к гибкому ограничению скорости на автомагистралях // *Мир транспорта и технологических машин.* 2018. №4(63). С. 49-54.
3. Variable Speed Limit (VSL) – Best Management Practice // *Transportation Research Center University of Florida.* 2012 187 p.
4. Khondaker B., Kattan L. Variable speed limit // *An overview. Transp. Lett.* 2015. №7. P. 264-278. doi.org/10.1179/1942787514Y.0000000053.
5. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of new-generation anti-icing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // *Transportation Research Procedia.* Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.
6. Papageorgiou M., Kosmatopoulos E., Papamichail I. Effects of Variable Speed Limits on Motorway Traffic Flow // *Journal of the Transportation research Board.* №2047. Washington, D.C. 2008. P. 37-48.
7. Geistefeldt J. Capacity effects of variable speed limits on German freeways // *Procedia Social and Behavioral Sciences.* №16. 2011. P.48-56.
8. Vrbanić F., Miletić M., Tišljarić L., Ivanjko E. Influence of Variable Speed Limit Control on Fuel and Electric Energy Consumption, and Exhaust Gas Emissions in Mixed Traffic Flows // *Sustainability.* 2022. №14. P. 932.
9. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.
10. Gaddam H.K., Rao K.R. Speed-density functional relationship for heterogeneous traffic data: A statistical and theoretical investigation // *J. Mod. Transp.* 2019. №27. P. 61-74.
11. Ху Л, Булатова О.Ю. Анализ применения интеллектуальных систем для управления дорожным движением в Китае // *Актуальные проблемы науки и техники: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции.* Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет. 2024. С. 684-685. EDN PJFZEG.
12. Wu N. A new approach for modeling of fundamental diagrams // *Transportation Research. Part A Policy and Practice.* №36. 2002. P. 867-884.
13. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Максимальная пропускная способность полосы при поворотном маневре // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.* 2013. №2. С. 188-191.
14. Messmer A. Papageorgiou, M. METANET: A macroscopic simulation program for motorway networks // *Traffic Eng. Control.* №31. 1990. P. 466-470.
15. Цзинь Ц., Зырянов В.В. Определение ключевых факторов, влияющих на дорожно-транспортные происшествия: применение факторного анализа // *Мир транспорта и технологических машин.* №3-2(86). 2024. С. 82-88. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-82-88. EDN FDYBPV.

16. Глаголев С.Н., Еремин С.В., Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Повышение эффективности функционирования транспортно-логистического комплекса страны // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-2(86). С. 132-138. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-132-138. EDN TLYHMJ.

17. Sun R., Hu J., Xie X., Zhang Z. Variable Speed Limit Design to Relieve Traffic Congestion Based on Cooperative Vehicle Infrastructure System // Procedia - Social and Behavioral Sciences. №138. 2014. P. 427-438.

18. Yu M., Fan W. Optimal variable speed limit control in connected autonomous vehicle environment for relieving freeway congestion // J. Transp. Eng. Part A Syst. 2019. №145. 04019007.

19. 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.

20. Булатова О.Ю., Зырянов В.В. Организация безопасного движения пешеходных потоков при проведении городских массовых мероприятий // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. №2. 2024. С. 57-63. DOI 10.36535/0236-1914-2024-02-8. EDN MVJLIC.

**Зырянов Владимир Васильевич**

Донской государственный технический университет

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

Зав. кафедрой «Организация перевозок и дорожного движения», д.т.н., профессор

E-mail: tolbaga@mail.ru

**Аохуа Го**

Донской государственный технический университет

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

Аспирант

E-mail: 1272105371@qq.com

**Линник Юрий Николаевич**

Государственный университет управления

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

Д.т.н., проф., профессор кафедры экономики и управления в топливно-энергетическом комплексе

E-mail: yn\_linnik@guu.ru

**Кулев Максим Владимирович**

Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева

Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77

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

E-mail: maxim.ka@mail.ru

---

V.V. ZYRYANOV, G. AOHUA, Y.N. LINNIK, M.V. KULEV

## MODELING OF FLEXIBLE SPEED LIMITS ON MOTORWAYS

***Abstract.** The article analyses the application of speed control systems in different countries. It is established that as a result of application of such systems the traffic capacity is increased, the stable speed is maintained, and traffic safety is improved. Three types of control algorithms are described according to spatial and temporal features. The features of application of these algorithms are shown. The significance of traffic flow modelling in the choice of control methods is argued. According to the results of modelling the efficiency parameters are given.*

***Keywords:** traffic flow, speed, dynamic control, simulation*

### BIBLIOGRAPHY

1. Li Z., Xu C., Pu Z., Guo Y., Liu P. Reinforcement Learning-Based Variable Speed Limits Control to Reduce Crash Risks near Traffic Oscillations on Freeways // IEEE Intell. Transp. Syst. Mag. 2020. №13. R. 64-70. doi.org/10.1109/MITS.2019.2907631.

2. Zyryanov V.V., Levandovskiy V.V. Analiz podkhodov k gibkomu ogranicheniyu skorosti na avtomagistralyakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №4(63). S. 49-54.

3. Variable Speed Limit (VSL) - Best Management Practice // Transportation Research Center University of Florida. 2012 187 p.

4. Khondaker B., Kattan L. Variable speed limit // An overview. Transp. Lett. 2015. №7. R. 264-278. doi.org/10.1179/1942787514Y.0000000053.

5. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of new-generation anti-icing materials as

- an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // *Transportation Research Procedia*. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.
6. Papageorgiou M., Kosmatopoulos E., Papamichail I. Effects of Variable Speed Limits on Motorway Traffic Flow // *Journal of the Transportation research Board*. №2047. Washington, D.C. 2008. R. 37-48.
7. Geistefeldt J. Capacity effects of variable speed limits on German freeways // *Procedia Social and Behavioral Sciences*. №16. 2011. R.48-56.
8. Vrbancic F., Miletic M., Tiljaric L., Ivanjko E. Influence of Variable Speed Limit Control on Fuel and Electric Energy Consumption, and Exhaust Gas Emissions in Mixed Traffic Flows // *Sustainability*. 2022. №14. R. 932.
9. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.
10. Gaddam H.K., Rao K.R. Speed-density functional relationship for heterogeneous traffic data: A statistical and theoretical investigation // *J. Mod. Transp.* 2019. №27. R. 61-74.
11. Hu L, Bulatova O.YU. Analiz primeneniya intellektual'nykh sistem dlya upravleniya dorozhnym dvizheniem v Kitae // *Aktual'nye problemy nauki i tekhniki: Materialy Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Rostov-na-Donu: Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet. 2024. S. 684-685. EDN PJFZEG.
12. Wu N. A new approach for modeling of fundamental diagrams // *Transportation Research. Part A Policy and Practice*. №36. 2002. R. 867-884.
13. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Maksimal'naya propusknaya sposobnost' polosy pri povorotnom manevre // *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2013. №2. S. 188-191.
14. Messmer A. Papageorgiou, M. METANET: A macroscopic simulation program for motorway networks // *Traffic Eng. Control*. №31. 1990. R. 466-470.
15. TSzin' TS., Zyryanov V.V. Opredelenie klyuchevykh faktorov, vliyayushchikh na dorozhno-transportnye pro-isshestviya: primeneniye faktornogo analiza // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. №3-2(86). 2024. S. 82-88. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-82-88. EDN FDYBPV.
16. Glagolev S.N., Eremin S.V., Novikov A.N., Shevtsova A.G. Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya transportno-logisticheskogo kompleksa strany // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №3-2(86). S. 132-138. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-132-138. EDN TLYHMJ.
17. Sun R., Hu J., Xie X., Zhang Z. Variable Speed Limit Design to Relieve Traffic Congestion Based on Cooperative Vehicle Infrastructure System // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. №138. 2014. R. 427-438.
18. Yu M., Fan W. Optimal variable speed limit control in connected autonomous vehicle environment for relieving freeway congestion // *J. Transp. Eng. Part A Syst.* 2019. №145. 04019007.
19. 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.
20. Bulatova O.YU., Zyryanov V.V. Organizatsiya bezopasnogo dvizheniya peshekhodnykh potokov pri provedenii gorodskikh massovykh meropriyatii // *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik*. №2. 2024. S. 57-63. DOI 10.36535/0236-1914-2024-02-8. EDN MVJJIC.

**Zyryanov Vladimir**

Don State Technical University  
Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don, Gagarina sq., 1  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: tolbaga@mail.ru

**Aohua Go**

Don State Technical University  
Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don, Gagarina sq., 1  
Postgraduate student  
E-mail: 1272105371@qq.com

**Linnik Yuri Nikolaevich**

State University of Management  
Address: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky Prospekt, 99  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: yn\_linnik@guu.ru

**Kulev Maksim Vladimirovich**

Orel State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: maxim.ka@mail.ru

Научная статья

УДК 164

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-112-118

Н.В. СОЛОВЬЕВ

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА В СЛОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

***Аннотация.** В статье разрабатывается модель оценки эффективности сложной транспортной системы, основанная на использовании информационного критерия для оценки эффективности действий по её реструктуризации. В качестве параметра информационного критерия мера взята мера количества информации, вводимой в логистическую транспортную сложную систему для устранения неопределенности поведения, как самой системы, так и отдельных событий. При этом разработанная модель, обеспечивает единство измерителей эффективности в логистических транспортных системах, так как основана на методах прогнозирования значения влияния факторного пространства на исследуемый процесс в целях повышения эффективности системы в целом. Разработка модели информационного критерия позволяет перейти к построению алгоритмов определения оптимальной траектории перемещения партии груза в интегрированной логистической транспортной сети.*

***Ключевые слова:** векторная оптимизация, информационный критерий, неопределённое информационное состояние, сложная система, логистическая транспортная система*

### **Введение**

Современная система транспортно-логистической деятельности в РФ сложилась в результате хаотичного развития рынка экономических взаимоотношений в конце прошлого века. Основным признаком, отражающим суть изменений при переходе от централизованного управления к децентрализованной системе управления транспортным производством, являлся перенос субъектности управления от государства к отдельным объектам системы – транспортным и транспортно-логистическим и экспедиторским компаниям. Естественно, что разрозненные субъекты управления деятельностью не способны сформировать транспортно-логистическую систему, обеспечивающие единство механизмов самоорганизации и развития всей системы в целом. Одним из обязательных элементов единой системы является наличие научно-обоснованной и регламентированной структуры измерителей для оценки эффективности процессов, сопровождающих функционирование системы, в противном случае оценки носят разрозненный и субъективный характер. Важно отметить, что единой системы измерителей результативности транспортного производства для различных видов транспорта в РФ не существует по следующим причинам. В СССР каждое отраслевое министерство (по видам транспорта) оперировало собственным отраслевым набором измерителей эффективности технологических процессов, а в рыночный период развития транспортной отрасли в РФ, отсутствовала видимая потребность в данных инструментах. В результате в каждой транспортное или транспортное экспедиторское предприятие выстраивает собственную логистику без учета интересов и оценки эффективности их действий для всей системы в целом. Между тем без единой структуры измерителей эффективности, объединяющей в себе не только экономические и технологические показатели, невозможно сформировать логистическую транспортную систему РФ, способную гибко реагировать на динамически изменяющиеся условия внешней среды, перераспределять грузопотоки с одного вида транспорта на другой, определять оптимальные маршруты движения отдельных партий груза и подвижного состава, оценивать эффективность транспортной инфраструктуры и прогнозировать сценарии её развития. Поэтому одной из основных проблем, сопровождающих деятельность транспортного производства в РФ, является отсутствие в настоящее время единой структуры измерителей

транспортно-логистической деятельности и научно-обоснованных методов, позволяющих её сформировать. Особенно актуальной становится решение данной проблемы в условиях активного развития цифровых технологий и геоинформационных систем, позволяющих оперировать большими данными и управлять ими в реальном «он-лайн» режиме времени.

### ***Материал и методы***

Настоящий период развития логистических транспортных систем как отечественные, так и зарубежные эксперты характеризуют тиками понятиями: неоднозначный, сложный, нестабильный и неопределенный [1-4], и объединяют их в одном термине VUCA (Volatile-Uncertain-Complex-Ambiguous). Чтобы оценить, насколько сложным является задача повышения эффективности логистических транспортных систем дадим оценку каждому их составляющих этого термина:

1) Неоднозначность – это прямое следствие разнородности по качественному признаку входящих в исследуемую систему измерителей. Это значит, что очень сложно привести к одной шкале единиц измерения весь набор входящих в отдельные измерители показателей, потому что это могут быть показатели, оценивающие разнородные по физической природе происхождения процессы. В логистических транспортных системах это могут быть временные показатели (единицы измерения – час., сек.) и показатели объемом перевозок, (единицы измерения – т., т-км.), экономические показатели и показатели обеспечения перевозок экологической безопасности и дорожной безопасности и т.д., Кроме того, к неоднозначности можно отнести и противоречивых характер целеполагания, присущий открытым системам к которым относятся логистические транспортные системы. Это значит, необходимый для исследования набор признаков (свойств) имеет разно векторный характер, а сама система наваливается многокритериальной. Только уже одно это свойств значительно усложняет поиск оптимальных действий в системе.

2) Сложной – это категория системы относится к количественному показателю и говорит о том, что в систему входит большое количество элементов и о наличии большого количества связей между ними. Это в свою очередь, означает, что для совершения действий, направленных на повышение эффективности системы нужно обладать достоверной и объективной информацией о закономерностях характеризующих взаимодействие элементов и объектов в системе. В противном случае решение главной задачи – преобразование информации в действия, направленные на достижение целей системы, носит субъективный характер. Кроме того, к категории сложности системы обязательно нужно возмозможную многоуровневость системы, когда элементы (объекты) в системе расположены на нескольких иерархических уровнях. В многоуровневых системах резко усложняется процесс выявления закономерностей, характеризующих взаимодействие объектов, так как в этом случае присутствует не только горизонтальное взаимодействие, но вертикальное межэлементное подчинение. Тогда значимость однородных отдельных элементов управления на различных уровнях системы будет различна. При этом значительно возрастает сложность оценивания внешнего и внутреннего факторного пространства, сопровождающее деятельность логистической транспортной системы.

3) Нестабильность – это свойство, которое можно правомерно отнести как внутреннему информационному состоянию системы, так и к его внешнему информационному окружению. Оно проявляется в динамическом характере внутренних и большей части внешних процессов, отражающихся на показателях эффективности логистической транспортной системы. В случае динамической нестабильности влияния внешних факторов на систему крайне затрудняется процесс прогнозирования состояния показателей в системе на скольконибудь значимую по времени величину. При этом привычные и распространённые методы линейного программирования для решения транспортных задач должны заменяться на динамические модели.

4) Неопределённость – это свойство системы относится к вероятностным характеристикам исследуемых показателей. Здесь важно знать, что «неопределенность» — это чисто математический термин и его следует отделять от термина «неизвестность». Отличие не-



определённости показателей от неизвестности показателей заключается в следующем. С системных позиций каждый элемент в системе характеризуется информационным кодом, который определяется произведением значения показателя на вероятность наступления события, которое характеризует деятельность того или иного элемента в системе. Неопределенность определяет, что вероятность наступления известного события изменяет в достаточно больших пределах (от 0 до 1), то есть вероятность наступления события не подчиняется классическим законам распределения случайных величин (нормального, логарифмического и т.д.), но при этом сам объект однозначно находится в исследуемой системе и его необходимо учитывать в сложившейся информационной ситуации. Неизвестность – это состояние информационного кода, когда в отличие от неопределенности мы не только не располагаем информацией вероятностных характеристиках показателя, сопровождающего детальность того или иного объекта в системе, но не можем сказать о принадлежности этого объекта к исследуемой системе. Естественно, что отнесение логистических транспортных системы к категории систем, функционирующих в условиях неопределенности, также значительно усложняет процесс целенаправленной деятельности по повышению эффективности логистических транспортных систем в силу того, что необходимо прибегать к специализированному математическому инструментарию, который позволяет аналитически решать задачи в условиях стохастической неопределенности. Этим инструментариумом могут быть известные теории: теория игр, теория игр с природой факторов, теория нечетких множеств или нечетко логики и т.д. Важно отметить, что в этом случае следует разделять неопределенность информационного состояния внешней от внутренней среды логистической транспортной системы.

### **Теория**

Проведенный краткий анализ характеристики состояния VUCA (Volatile-Uncertain-Complex-Ambiguous), в условиях которого необходимо решать накопившиеся проблемы в транспортном логистическом производстве РФ говорит о объективной научной сложности решения поставленных задач. Неслучайно данная тема вызвала интерес в кругах научного сообщества и в последние годы появилось достаточно большое количество научных трудов и публикаций, посвящённых актуальным вопросам развития логистических транспортных системы РФ в сложных и динамических изменяющихся условиях внешней среды. В частности, ряд научных публикаций посвящены влиянию пандемии коронавируса, вносящему признаки неопределенности состояния, на эффективность развития логистических транспортных систем [5-8]. Также активно исследуется влияние международных санкций на процессы функционирования логистических транспортных систем в РФ [9, 10] и вызванные этим влиянием, вносящим признаки динамической нестабильности в логистические транспортные системы, процесс переориентации транспортных потоков [11]. В работе [12] подводятся обоснованные итоги и указывается, что следствием активного изменения внешнего факторного пространства на логистическую транспортную систему РФ стало:

- Дисбаланс транспортно-логистического рынка и необходимость «апгрейда» или обновления международных логистических цепей поставок;
- Рост цен, как следствие дефицита провозных возможностей при отказе от традиционных от наработанных схем цепей поставок в пользу неизвестных маршрутов, а точнее маршрутов с неопределёнными вероятностными характеристиками показателей;
- Необходимость создания информационно-аналитических платформ, реагирующих в «он-лайн» режиме на изменение информационного состояния условий перевозок и оптимизирующего логистические схемы
- Усиление роли государства, в интересах которого максимальное повышение прозрачности рынка транспортно-логистических услуг.

### **Результаты и обсуждение**

Наличие указанных особенностей в сложных логистических транспортных системах позволяет использовать статистические методы (экстраполяцию данных) только для оценки отдельных показателей системы. Общеизвестно, что статистические данные дают хорошие

результаты только в том случае, если оцениваемое явление или событие характеризуется массовостью и однородность [13, 14]. Между тем в современной практике организации транспортного производства метод экстраполяции данных нередко применяется для организации сложных динамических процессов, что приводит к неизбежным ошибкам или неточностям прогнозирования состояния исследуемых систем.

Цель анализа сложной системы в контексте данного исследования – определение количественных характеристик качества. При этом под качеством системы будем понимать классическое определение – совокупность свойств системы для выполнения заложенного функционала, то есть использования её по назначению. Каждое свойство системы количественно характеризуется величиной одного или нескольких параметров, изменения которых представляют случайные процессы, неподчиняющиеся классическим законам распределения случайных величин, то есть функционирующих в условиях неопределенности. Тогда с теоретической точки зрения задача статистического анализа качества сложной системы сводится к определению количественных характеристик случайных процессов изменения исследуемых параметров.

Введем обозначения. Пусть:  $x_{ij}$  – один из параметров  $j$  – го свойства  $f_i(x_{ij})$  – функция распределения этого параметра. Тогда функционал одного свойства определяется выражением:

$$F_j = A_1 [f_1(x_{1j})] \wedge A_2 [f_2(x_{2j})] \wedge \dots \wedge A_n [f_n(x_{nj})], \quad (1)$$

где  $\eta$  – число параметров  $j$  – го свойства;

$A_i$  – функционал  $i$  – го параметра.

Тогда математическая модель поиска максимально возможной эффективности логистической транспортной системы для отдельных участков маршрута по совокупности присутствующих всем видам транспорта свойств (критериев качества), основанная аналитическом определении информационного критерия может быть записана в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} P_i \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n P_j = 1, 0 \leq P_j \leq 1, c_j \geq P_{j+1} = \bar{1}, \bar{n} - \bar{1} \\ \\ B_{ij} = \begin{cases} \frac{A_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} A_{ij}} \\ \frac{\max_{1 \leq i \leq m} A_{ij}}{A_{ij}} \end{cases}; B_{kj} = \max_j B_{ij} \\ \\ K_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{c_{ij}}, \text{ если } j \leq c_{ij} \\ 0, \text{ если } j > c_{ij} \end{cases} \\ j = 1 \dots n \\ \\ \Phi_i = \sum_{j=1}^n K_{ij} B_{ij}; \\ \Phi_{ij} = \max_{1 \leq i \leq m} \Phi_i \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $X_{ij}$  - переменное значение параметра, принимающее текущее значение  $A_{ij}$  для исследуемого участка маршрута

$B_{ij}$  – нормированное значение показателя  $A_{ij}$  качественных измерителей отдельных свойств системы или критериев (целеполагания)

$B_{kj}$  – максимальное значение нормированного показателя  $A_{ij}$  для отдельного вида транспорта на всей совокупности исследуемых свойств,  $j=1 \dots n$ ;

$c_{ij}$  – принимаемое значение индекса  $j$ , соответствующее, условию:  $B_{kj} = \max_j B_{ij}$  ;

$K_{ij}$  - значение информационного критерия, соответствующего  $P(w_j)$  вероятность проявления исследуемых свойств, при котором будет реализован максимум потенциала системы;

$\Phi_i$  - максимальная эффективность отдельного вида транспорта в текущем состоянии системы

$\Phi_{ij}$  – максимальная эффективность системы на отдельном участке маршрута на основании выбора максимально эффективного вида транспорта

Представленный научный подход обеспечивает единство измерителей эффективности в логистических транспортных системах и основан на управлении, прогнозирующем значения влияния факторного пространства на исследуемый процесс в целях повышения эффективности системы в целом. Разработанный информационный критерий характеризует степень приспособленности системы к определенной задаче и совпадает с понятием эффективности и характеризует количественно нескольких параметров, изменения которых представляют случайные процессы, неподчиняющиеся классическим законам распределения случайных величин, то есть функционирующих в условиях неопределенности. Оценки достоверности разработанной модели информационного критерия для определения вероятностей эффективного состояния на отдельных участках логистической транспортной системы производилась по случайной выборке исходных данных на предмет соответствия экспоненциальному распределению вероятностей эффективных состояний по отдельным параметрам исследуемых свойств. Полученные результаты расчёта подтвердили, что количественная оценка эффективности логистической системы на отдельном участке при использовании разработанной модели информационного критерия подчиняется убывающей экспоненциальной зависимости с высокой степенью детерминации (коэффициент детерминации во всех случаях выше 0,9). Характерам полученных экспоненциальных зависимостей починяется постулату снятия неопределенности, сформулированному условием постановки задачи.

### **Выводы**

Разработка модели информационного критерия позволяет перейти к построению алгоритмов определения оптимальной траектории перемещения партии груза в интегрированной логистической транспортной сети. Для построения алгоритмов определения оптимальной траектории перемещения партии груза в интегрированной логистической транспортной сети может быть применен алгоритм Беллмана–Форда. Данный алгоритм решает задачу динамического программирования по определению оптимальной траектории движения партии груза в интегрированной логистической транспортной системе по нескольким критериям эффективности в условиях стохастической неопределенности внешнего факторного пространства.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун Л.А. Математические методы построения прогнозов. М.: Радио и связь, 1997. 112 с.
2. Луман Н. Введение в системную теорию // Из-во «Логос», 2007. 360 с.
3. Кудж С.А. Многоаспектность рассмотрения сложных систем // Перспективы науки и образования. 2014, №1. С. 38-43.

4. Покровская О.Д. Логистические транспортные системы России в условиях, новых санкций // Бюллетень результатов научных исследований. 2022. Вып. 1. С. 80-94. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-80-94.
5. Рынок международной логистики в 2022 - как это будет? [Электронный ресурс]. URL: <https://novelco.ru/press-tsentr/rynok-mezhdunarodnoy-logistiki-v-2022-kak-eto-budet/>.
6. Развитие рынка международной логистики в 2022 году: ожидания и риски [Электронный ресурс]. URL: [https://telsgroup.ru/media\\_center/tels\\_in\\_the\\_press/razvitie-rynka-mezhdunarodnoy-logistiki-v-2022-godu-ozhidaniya-i-riski/](https://telsgroup.ru/media_center/tels_in_the_press/razvitie-rynka-mezhdunarodnoy-logistiki-v-2022-godu-ozhidaniya-i-riski/).
7. Rozin M. Stereotypes of Transport Logistics in Geopolitical Analytics [Электронный ресурс] / Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 61. P. 285–288. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.047>.
8. Kurbatova A., Kurenkov P., Safronova A., Kuzina M. Rational Precious Metals Supply Schemes. E3S Web of Conferences 138, 01039 [Электронный ресурс] / International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development» (CATPID-2019). URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913801039/>.
9. Cui Z. How does COVID-19 pandemic impact cities' logistics performance? Evidence from China's highway freight transport [Электронный ресурс] / Transport Policy. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.03.002>.
10. Bayramov V. Collateral damage: The Western sanctions on Russia and the evaluation of implications for Russia's post-communist neighbourhood [Электронный ресурс] / International Economics. 2020. Vol. 162. P. 92-109. URL: <https://doi.org/10.1016/j>.
11. Запад вводит против России новые санкции [Электронный ресурс] / URL: <https://lenta.ru/brief/2022/03/05/cost/>.
12. Концепция создания терминально-логистических центров на территории РФ [Электронный ресурс]. М., 2012. 79 с. URL: <https://cargo.rzd.ru/api/media/resources/c/5/121/74208>.
13. History of Intelligent Transportation Systems // U.S. department of transportation, report FHWA-JPO-16-329, 2016.
14. Титов А.В., Гаврилина Н.Е. и др. Управление логистическими системами от транспортного узла до транспортно-логистического кластера. Прага: Sociosféra-CZ, 2016. 120 с.

**Соловьев Николай Владимирович**

Государственный университет управления,  
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)  
Адрес: 109542, город Москва, Рязанский пр-кт, д.99,  
125319, город Москва, Ленинградский пр-кт, д. 64  
Младший научный сотрудник, соискатель  
E-mail: n.solovyov@merkatorikaluga.ru

---

N.V. SOLOVIEV

## **METHODS FOR EVALUATING PRODUCTION EFFICIENCY IN COMPLEX TRANSPORT SYSTEMS**

**Abstract.** *The article develops a model for evaluating the effectiveness of a complex transport system based on the use of an information criterion to assess the effectiveness of actions to restructure it. The measure of the amount of information entered into a logistics transport complex system to eliminate the uncertainty of behavior, both of the system itself and of individual events, is taken as a parameter of the information criterion. At the same time, the developed model ensures the unity of efficiency meters in logistics transport systems, since it is based on methods for predicting the value of the influence of factor space on the process under study in order to increase the efficiency of the system as a whole. The development of an information criterion model makes it possible to proceed to the construction of algorithms for determining the optimal trajectory of a cargo shipment in an integrated logistics transport network.*

**Key words:** *vector optimization, information criterion, uncertain information state, complex system, logistic transport system*

## BIBLIOGRAPHY

1. Greshilov A.A., Stakun V.A., Stakkun L.A. *Matematicheskie metody postroeniya prognozov*. M.: Ra-dio i svyaz, 1997. 112 s.
2. Luman N. *Vvedenie v sistemnyu teoriyu* // *Iz-vo "Logos"*, 2007. 360 s.
3. Kudzh S.A. *Mnogoaspektnost` rassmotreniya slozhnykh sistem* // *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. 2014, №1. S. 38-43.
4. Pokrovskaya O.D. *Logisticheskie transportnye sistemy Rossii v usloviyakh, novykh sanktsiy* // *Byulle-ten` rezul`tatov nauchnykh issledovaniy*. 2022. Vyp. 1. S. 80-94. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-80-94.
5. *Rynok mezhdunarodnoy logistiki v 2022 - kak eto budet?* [Elektronnyy resurs]. URL: <https://novelco.ru/press-tsentr/rynok-mezhdunarodnoy-logistiki-v-2022-kak-eto-budet/>.
6. *Razvitie rynka mezhdunarodnoy logistiki v 2022 godu: ozhidaniya i riski* [Elektronnyy resurs]. URL: [https://telsgroup.ru/media\\_center/tels\\_in\\_the\\_press/razvitie-rynka-mezhdunarodnoy-logistiki-v-2022-godu-ozhidaniya-i-riski/](https://telsgroup.ru/media_center/tels_in_the_press/razvitie-rynka-mezhdunarodnoy-logistiki-v-2022-godu-ozhidaniya-i-riski/).
7. Rozin M. *Stereotypes of Transport Logistics in Geopolitical Analytics* [Elektronnyy resurs] / *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 61. P. 285-288. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.047>.
8. Kurbatova A., Kurenkov P., Safronova A., Kuzina M. *Rational Precious Metals Supply Schemes*. E3S Web of Conferences 138, 01039 [Elektronnyy resurs] / *International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development" (CATPID-2019)*. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913801039/>.
9. Cui Z. *How does COVID-19 pandemic impact cities' logistics performance? Evidence from China's highway freight transport* [Elektronnyy resurs] / *Transport Policy*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.03.002>.
10. Bayramov V. *Collateral damage: The Western sanctions on Russia and the evaluation of implications for Russia's post-communist neighbourhood* [Elektronnyy resurs] / *International Economics*. 2020. Vol. 162. P. 92-109. URL: <https://doi.org/10.1016/j>.
11. *Zapad vvodit protiv Rossii novye sanktsii* [Elektronnyy resurs] / URL: <https://lenta.ru/brief/2022/03/05/cost/>.
12. *Kontsepsiya sozdaniya terminal`no-logisticheskikh tsentrov na territorii RF* [Elektronnyy resurs]. M., 2012. 79 s. URL: <https://cargo.rzd.ru/api/media/resources/c/5/121/74208>.
13. *History of Intelligent Transportation Systems* // U.S. department of transportation, report FHWA-JPO-16-329, 2016.
14. Titov A.V., Gavrilina N.E. i dr. *Upravlenie logisticheskimi sistemami ot transportnogo uzla do transportno-logisticheskogo klastera*. Praga: Sociosf?ra-CZ, 2016. 120 s.

**Soloviev Nikolay Vladimirovich**

State University of Management,

Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)

Address: 109542, Moscow, Ryazanskiy prospect, 99,

125319, Moscow, Leningradskiy pr., b. 64

Junior Researcher, co-researcher

E-mail: [n.solovyov@merkatorkaluga.ru](mailto:n.solovyov@merkatorkaluga.ru)

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-119-125

А. СИНЬ, О.Ю. БУЛАТОВА, С.В. ЕРЕМИН, А.С. ТРОШИН

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ЭФФЕКТИВНОГО ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МЕГА-СОБЫТИЙ НА ПРИМЕРЕ XIX АЗИАТСКИХ ИГР В Г. ХАНЧЖОУ

***Аннотация.** В данной статье приводится обзор организации транспортного обслуживания XIX Азиатских игр в Ханчжоу, сервисов интеллектуальных транспортных систем, с целью выявления принципов эффективной организации транспортных услуг при проведении мега-событий.*

***Ключевые слова:** мега-события, Азиатские игры, транспортное обслуживание, интеллектуальные транспортные системы, логистика, беспилотные транспортные средства*

### **Введение**

Целью организации XIX Азиатских игры в Ханчжоу было соблюдение следующих принципов: «новая эпоха Китая, новые Азиатские игры в Ханчжоу», отображение «китайской аутентичности и азиатского стиля», концепция Игр «зеленые, интеллектуальные, цивилизованные».

В состав Азиатского олимпийского совета на момент проведения XIX Азиатских игр входило 45 стран, зарегистрировано – 12 500 спортсменов, что стало рекордом по количеству спортсменов, принимающих участие в мультиспортивных мероприятиях (на Олимпийских играх 2024 г. в Париже зарегистрировано 10 500 спортсменов). В Ханчжоу приехало более 24 000 человек из различных делегаций, должностных лиц, технических работников, СМИ и членами Олимпийского совета Азии. Общее количество зрителей достигло более 3 миллионов человек [1-5].

XIX Азиатские игры в Ханчжоу стали наиболее масштабными по охвату в истории проведения Игр. XIX Азиатские игры совпали с празднованием Луны – национального праздника, сопровождающегося наблюдением на приливом реки Цяньтан. Мероприятие такого масштаба существенно отразилось на транспортной нагрузке г. Ханчжоу: ежедневный поток автомобилей составил 2,6 миллиона транспортных средств (ТС), из которых 800 000 ТС - из других регионов и стран. На период проведения данного мега-события к функционированию транспортной инфраструктуры были предъявлены наиболее высокие требования, необходима согласованность движения общественного транспорта (внутреннего и междугородного), обслуживающего транспорта, ТС экстренных служб и т.д. Далее в статье будет рассмотрен и проанализирован проект организации транспортного обслуживания XIX Азиатских игр [6].

### **Материалы и методы**

Реализация логистических услуг в период проведения Игр была предоставлена китайской логистической компании Юаньтун (Yuantong). Приоритетом данной компании при организации транспортного обслуживания XIX Азиатских игр было соблюдение принципа «зеленые, интеллектуальные, цивилизованные». Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Создание логистического центра - международного склада №1. Данный объект имеет следующие функции: централизованное хранение продукции, распределение, координация таможенного оформления и подготовка общего плана распределения продукции в период проведения Игр и других задач по обеспечению логистического обслуживания XIX Азиатских игр. За период проведения Игр через международный склад №1 было распределе-



но около 100 000 тонн различной продукции и сырья, ежедневный грузопоток составил около 1000 тонн. Складская площадь составляет 72 000 квадратных метров, имеет почти 3500 поддонных мест, обслуживается более 200 человек административно-управленческого аппарата. На крыше объекта располагается 1845 высокоэффективных монокристаллических кремниевых фотоэлектрических панелей, соединенных вместе, что позволяет вырабатывать 1,32 млн. кВт/ч электроэнергии, удовлетворяя потребности в электроэнергии логистического центра. Также это решение позволяет сократить выбросы углекислого газа на 1032 тонны в период проведения Игр. При логистическом обслуживании XIX Азиатских игр компания Юаньтун использует новые энергетические и экологически чистые транспортные средства, таким образом, по окончании Игр пробег каждого автомобиля составил всего 200 км, что включало в себя перемещение ТС от централизованного склада до объектов обслуживания в течение двух месяцев. Данная мера позволила сократить количество выбросов углерода на 1500 тонн [7-10].

2. Разработка «Информационной системы логистики Азиатских игр» с целью эффективного логистического обслуживания XIX Азиатских игр. Данная система состоит из четырех модулей: система управления заказами (OMS), система управления складской сетью (WMS), система управления транспортными потоками (TMS) и системы планирования распределения заказов (MDS). Интегрированная работа перечисленных модулей позволяет выполнять функции онлайн - заказа, онлайн - аутентификации, обмена информацией онлайн, автоматизации управления сетью складов и перемещением транспортных средств. «Информационная система логистики Азиатских игр» распределяет необходимые функции между модулями, обеспечивает согласованное взаимодействие модулей между собой, для обеспечения видимости, отслеживания и контроля всего логистического процесса. «Информационная система логистики Азиатских игр» является мозгом логистического обслуживания мероприятия, использует такие современные технологии как: Большие данные, Интернет вещей и искусственный интеллект, для обеспечения качественного сбора логистической информации, мониторинга в режиме реального времени перемещения товаров и услуг и интеллектуального анализа получаемых данных. Также при осуществлении складской деятельности применяются беспилотные технологии: беспилотный вилочный погрузчик AGV; роботы-собаки, экзоскелеты, обеспечивающие эффективное перемещение тяжеловесных паллет, сокращая нагрузку на сотрудников склада на 50 % [11-15].

3. Реализация беспилотного транспортного обслуживания. Компания Юаньтун совместно с беспилотными транспортными компаниями организовали транспортное обслуживание XIX Азиатских игр транспортными системами 4-го уровня автоматизации.

### **Теория**

В период XIX Азиатских игр было проведено более 310 соревнований, в которых участвовало 32 территориальных объекта проведения соревнований. Для обеспечения внутригородских и междугородних перевозок в период проведения Игр было выделено 21 000 транспортных средств, которые на 100 % соблюдали разработанный график движения [16].

На церемонии открытия Игр, зрителей насчитывалось 70 000 человек, которые по окончании церемонии покинули объект всего за 40 минут, что показывает высокую эффективность организации движения пешеходных и транспортных потоков.

Рассмотрим интеллектуальные технологии, реализованные с целью обеспечения эффективного транспортного обслуживания XIX Азиатских игр:

#### **1. Общественный транспорт.**

- Предоставление услуг такси в 30 % осуществляется электромобилями. Разработаны следующие требования к габаритам автомобилей, реализующим услуги такси: колесная база транспортного средства не менее 2700 мм, объем багажника не менее 400 л, общий рабочий пробег не менее 400 км для электромобилей. Бортовое интеллектуальное оборудование такси должно включать в себя: терминальный хост, модуль дисплея, модуль записи камеры, модуль анализа поведения водителя, модуль хронометража, модуль отображения состояния

пассажира, интерфейс шины автомобиля CAN, интерфейс устройства калькуляции, интерфейс устройства ETC, интерфейс интеллектуального освещения и другие сервисы [17].

- Интеллектуальные автобусы, имеющие 4 уровень автоматизации, основанные на платформе смешанной реальности Sensemars. Данные транспортные средства могут точно идентифицировать линии полос движения, светофоры, осуществлять прогноз направления движения пешеходов и транспортных средств, принимать своевременные и эффективные водительские решения, составлять маршрут таким образом, чтобы обеспечить автоматическую остановку и доступ к пассажирам на конкретном рейсе, а также безопасно доставлять пассажиров из пункта отправления в пункт назначения по фиксированной линии полностью автономно. Скорость передвижения интеллектуальных автобусов составляет 50 км/ч [18].

- Поезд AIA Fluxing Aviation Smart Eviation Team, разработанный для XIX Азиатских игр в Ханчжоу, также является полным проявлением интеллекта и цифровизации. Скорость движения данного поезда составляет 350 км/ч, вместимость – 578 человек. В данном поезде реализованы следующие функции: автоматическое регулирование давления воздуха и температуры; полное покрытие сети 5G + Wi - Fi, в отдельных вагонах также есть интеллектуальные интерактивные терминалы, инклюзивный дизайн для комфортного доступа маломобильных групп населения и спортсменов-участников Ханчжоуских Азиатских Паралимпийских игр. Также поезд благодаря бионическому дизайну, значительно снижает сопротивление воздуха, прогнозируемая экономия энергии составляет 10 %, в сочетании с легким кузовом и общей энергосберегающей технологией, один поезд экономит около 1,8 млн. киловатт-часов в год в год.

## 2. Организация движения автономных транспортных средств.

Во время Азиатских игр были реализованы две полосы движения автономных транспортных средств. Данные полосы движения оснащены автономной навигационной вспомогательной системой NZP (New Zealand Pilot), состоящей из 78 - мегапиксельных камер, 12 ультразвуковых радаров, 1 миллиметрового радиолокатора, с низким энергопотреблением и независимостью от лидара. Таким образом, были созданы условия для комфортного и безопасного перемещения автономных транспортных средств, предоставляя следующие функции: распознавание светофорных сигналов, идентификация пешеходов, обеспечение безопасности выполнения левосторонних поворотов и выполнения различных маневров в процессе движения [19].

## 3. Ханчжоуский транспортный командный центр Азиатских игр

В период с 16 сентября по 11 октября 2023 года на территории города Ханчжоу на 24 городских дорогах и 2 автомагистралях были созданы цифровые выделенные полосы Азиатских игр для обеспечения безопасности и соблюдения графика движения транспортных средств соревнований. С целью повышения эффективности использования улично-дорожной сети города Ханчжоу и снижения транспортной нагрузки на существующую транспортную инфраструктуру, были внедрены цифровые технологии управления движением и динамическое использование цифровых выделенных полос движения транспорта Азиатских игр. Ханчжоуский транспортный командный центр Азиатских игр осуществляет мониторинг движения в режиме реального времени, проверку соответствия движения транспортных средств разработанному графику движения, повышает эффективность использования улично-дорожной сети Ханчжоу, а также отвечает за планирование, безопасность и эффективность функционирования транспортной инфраструктуры города Ханчжоу. Данный командный центр был реализован компанией «Hikvision». Соответствующий персонал может в режиме реального времени контролировать макроскопическую ситуацию обеспечения различных транспортных услуг, реагировать на чрезвычайные ситуации, а также реализовать интеллектуальную модель Азиатских игр «10 000 человек, 1000 автомобилей, секундное планирование» [20-22].

Также в период проведения Игр была внедрена онлайн платформа Greenbo, с помощью которой возможно оптимизировать «зеленую волну» для ключевых дорожных участков

города, что значительно повышает эффективность движения по основным наземным маршрутам и обеспечивает эффективность транспортного обслуживания Азиатских игр.



*Рисунок 1 – Работа Ханчжоуского транспортного командного центра Азиатских игр*

### **Результаты и обсуждение**

Анализ опыта проведения мега-событий на территории Азии на примере XIX Азиатских игр в городе Ханчжоу (Китай), показывает, что решения Китая в области транспортного обслуживания имеет следующие особенности: применение современных передовых технологий, работа с большим количеством участников мероприятия (более 15 млн. человек), организация транспортно-логистического обслуживания с использованием беспилотных технологий.

Транспортное обслуживание XIX Азиатских игр в Ханчжоу было организовано на высоком уровне. Опыт Ханчжоу может быть использован при организации мега-событий следующим образом:

1) международный склад №1, характеризующийся эффективной пропускной способностью, применением интеллектуальных технологий и экологическими мерами, может служить шаблоном для управления логистикой других крупных мероприятий. Интеллектуальное логистическое оборудование с его интеллектуальными и зелеными характеристиками имеет универсальную ценность для повышения эффективности логистики и снижения воздействия на окружающую среду;

2) электромобили, автономные автомобили, развитие интеллектуальных дорог и цифровых выделенных полос Азиатских игр показывают, что эти технологии могут быть применены не только в период проведения мега-событий, но и к повседневному управлению городским транспортом;

3) современные технологии в области транспорта всегда были в фокусе внимания Китая. На XIX Азиатских играх страна продемонстрировала свои высокие достижения в эксплуатации беспилотных автомобилей, кооперативных интеллектуальных транспортных систем, интеллектуальных автобусов AR и интеллектуальных поездах на Азиатских играх, являясь примером для популяризации данных технологий по всему миру.

### **Выводы**

Реализация транспортного обслуживания XIX Азиатских игр имеет высокую оценку среди экспертов. Транспортное обслуживание мега-событий такого масштаба, как XIX Азиатские игры, является большим вызовом для организаторов мероприятия. Население города Ханчжоу составляет более 12 млн. жителей, что требует от транспортной инфраструктуры высокого уровня обслуживания, чтобы удовлетворить городское население в транспортном спросе. В период проведения XIX Азиатских игр существующая транспортная система города столкнулась с высокой дополнительной нагрузкой. Однако, реализованные решения показали

свою эффективность и обеспечили качественное транспортное обслуживание мероприятия.

Внедрение интеллектуальных транспортных услуг - это постоянно развивающийся процесс. Несмотря на высокий уровень качества предоставляемых транспортных услуг в период проведения Азиатских игр, можно выделить следующие направления, по которым возможна их оптимизация: повышение качества обмена информацией между всеми участниками транспортно-логистического обслуживания, налаживание активной обратной связи от населения, с целью идентификации потребностей пассажиров и водителей.

### 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. Ань С., Булатова О.Ю. Применение цифровых технологий при реализации чайной продукции на территории КНР // Развитие современной науки и технологий транспортных процессов: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. 2024. С. 100-104. DOI 10.58168/DMSTTP2024\_100-104. EDN FIQPMS.
3. Булатова О.Ю., Булатов В.С. Совершенствование городской транспортной системы путём внедрения основных трендов мобильности в условиях проведения массовых мероприятий // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №4-1(79). С. 111-118. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-111-118. EDN KVPYDE.
4. Зедгенизов А.В. Нормативное обеспечение оценки транспортного спроса на основе характеристик землепользования // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 3-2(86). С. 68-73. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-68-73. EDN AOSNVS.
5. 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 RPJVYD.
6. Годованый К.А., Зырянов В.В., Колобов А.И., Мамаев Э.А. О моделях трансформации деятельности логистического оператора // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2024. №1(93). С. 55-65. DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_1\_55. EDN EJJZPM.
7. 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.
8. 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.
9. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Исследование степени насыщения пересечения при учете классификации легковых автомобилей // Автотранспортное предприятие. 2014. №5. С. 51-53.
10. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.
11. 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.
12. Жанказиев С.В., Короткова Ю.А. Сервисная полоса ИТС // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №2(36). EDN JXBGXZ.
13. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю., Караева М.Р., Костенко А.А. Повышение качества прогнозирования объемов перевозок с использованием нейронных сетей // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-3(84). С. 27-34. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-27-34. EDN SRMTUL.
14. 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.
15. Зырянов В.В., Цзянг Х. Применение макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока с использованием данных системы видеонаблюдения на улично-дорожной сети Г. Цзинань КНР // Десятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021): Труды конференции (электронное издание). Санкт-Петербург: АО «Центр технологии судостроения и судоремонта». 2021. С. 574-580. EDN FZKYSF.
16. Ch. Liu, V. Zyryanov, I. Topilin [et al.] Investigating the Impacts of Autonomous Vehicles on the Efficiency of Road Network and Traffic Demand: A Case Study of Qingdao // Sensors. 2024. Vol. 24. №16. P. 5110. DOI 10.3390/s24165110. EDN MSAPEG.
17. Зеликов В.А., Денисов Г.А., Феофилова А.А. [и др.] Анализ вариантов исследования наезда на пешехода или дикое животное, вышедшего под произвольным углом из-за движущегося встречного препятствия //

Воронежский научно-технический Вестник. 2024. Т. 1. №1(47). С. 77-88. DOI 10.34220/2311-8873-2024-77-88. EDN CNDWJB.

18. 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.

19. Феофилова А.А., Цзян Ц. Управление и контроль транспортных потоков интеллектуальной системой // Молодой исследователь Дона. 2024. Т. 9. №2(47). С. 45-49. EDN CFMGWC.

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.

**Ань Синь**

Донской государственный технический университет  
Адрес: 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162  
Магистрант  
E-mail: 1272105371@qq.com

**Булатова Ольга Юрьевна**

Донской государственный технический университет  
Адрес: 344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162  
К.т.н., доцент кафедры организации перевозок и дорожного движения  
E-mail: mip.rnd@yandex.ru

**Еремин Сергей Васильевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95  
Д.т.н., профессор кафедры сервис и ремонт машин ОГУ имени И.С. Тургенева  
E-mail: 140576@mail.ru

**Трошин Александр Сергеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46  
Д.э.н., доцент, заведующий кафедрой мировой экономики и финансового менеджмента  
E-mail: as\_troschin@inbox.ru

---

ANIE SINIE, O.YU. BULATOVA, S.V. EREMIN, A.S. TROSHIN

## MEGA-EVENTS EFFECTIVE TRANSPORT SERVICES PRINCIPLES DEFINING USING THE XIX ASIAN GAMES IN HANGZHOU EXAMPLE

***Abstract.** This article provides an overview of the transport services organization of the XIX Asian Games in Hangzhou, intelligent transport systems services, in order to identify the principles of effective organization of transport services during mega-events.*

***Keywords:** mega-events, Asian Games, transport services, intelligent transport systems, logistics, driverless 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). S. 67-73. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-67-73. EDN TJWEAI.

2. An` S., Bulatova O.YU. Primenenie tsifrovyykh tekhnologiy pri realizatsii chaynoy produktsii na territorii KNR // Razvitie sovremennoy nauki i tekhnologiy transportnykh protsessov: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet imeni G.F. Morozova. 2024. S. 100-104. DOI 10.58168/DMSTTP2024\_100-104. EDN FIQPMS.

3. Bulatova O.YU., Bulatov V.S. Sovershenstvovanie gorodskoy transportnoy sistemy putiom vnedreniya osnovnykh trendov mobil`nosti v usloviyakh provedeniya massovykh meropriyatiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №4-1(79). S. 111-118. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-111-118. EDN KVPYDE.

4. Zedgenizov A.V. Normativnoe obespechenie otsenki transportnogo sprosa na osnove kharakteristik zem-

leispol'zovaniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. № 3-2(86). S. 68-73. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-68-73. EDN AOSNV5.

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

6. Godovanyy K.A., Zyryanov V.V., Kolobov A.I., Mamaev E.A. O modelyakh transformatsii deyatel'nosti logisticheskogo operatora // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2024. №1(93). S. 55-65. DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_1\_55. EDN EJJZPM.

7. Krivolapova O.YU., Feofilova A.A. Metodologiya snizheniya zatrat na poezdku pri prognozirovanii ob"ema dvizheniya na vybrannykh marshrutakh // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 3(16). S. 151. EDN QZXZUF.

8. 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.

9. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Issledovanie stepeni nasyshcheniya peresecheniya pri uchete klassifikatsii legkovykh avtomobiley // Avtotransportnoe predpriyatie. 2014. №5. S. 51-53.

10. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.

11. 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.

12. ZHankaziev S.V., Korotkova YU.A. Servisnaya polosa ITS // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. 2023. №2(36). EDN JXBGXZ.

13. Zyryanov V.V., Semchugova E.YU., Karaeva M.R., Kostenko A.A. Povyshenie kachestva prognozirovaniya ob"emov perevozok s ispol'zovaniem neyronnykh setey // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №1-3(84). S. 27-34. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-27-34. EDN SRMTUL.

14. 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.

15. Zyryanov V.V., TSzyang H. Primenenie makroskopicheskoy fundamental'noy diagrammy transportnogo potoka s ispol'zovaniem dannykh sistemy videonablyudeniya ulichno-dorozhnoy seti G. TSzinan` KNR // Desyataya vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya po imitatsionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti «Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika» (IMMOD-2021): Trudy konferentsii (elektronnoe izdanie). Sankt-Peterburg: AO «Tsentr tekhnologii sudostroeniya i sudoremonta». 2021. S. 574-580. EDN FZKYSF.

16. Ch. Liu, V. Zyryanov, I. Topilin [et al.] Investigating the Impacts of Autonomous Vehicles on the Efficiency of Road Network and Traffic Demand: A Case Study of Qingdao // Sensors. 2024. Vol. 24. №16. P. 5110. DOI 10.3390/s24165110. EDN MSAEAG.

17. Zelikov V.A., Denisov G.A., Feofilova A.A. [i dr.] Analiz variantov issledovaniya naezda na peshekhoda ili dikoe zhitovnoe, vyshedshego pod proizvol'nym uglom iz-za dvizhushchegosya vstrechnogo prepyatstviya // Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskyy Vestnik. 2024. T. 1. №1(47). S. 77-88. DOI 10.34220/2311-8873-2024-77-88. EDN CNDWJB.

18. 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 univer-sitet. 2023. S. 268-274. EDN IAFOEF.

19. Feofilova A.A., TSzyan TS. Upravlenie i kontrol' transportnykh potokov intellektual'noy sistemoy // Molodoy issledovatel' Dona. 2024. T. 9. №2(47). S. 45-49. EDN CFMGWC.

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.

**Anie Xin**

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

**Bulatova Olga Yurievna**

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

**Eremin Sergey Vasilyevich**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str.  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: 140576@mail.ru

**Troshin Alexander Sergeevich**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str.  
Doctor of Economics Sciences  
E-mail: as\_troshin@inbox.ru

Научная статья  
УДК 656.13, 004.89  
doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-126-133

Ц. ЦЗЯН, А.А. ФЕОФИЛОВА, А.Г. ШЕВЦОВА, В.В. ВАСИЛЬЕВА

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

***Аннотация.** Прогнозирование транспортных потоков в основном использует данные о параметрах дорожного движения, полученные интеллектуальными транспортными системами, для прогнозирования состояния и повышения эффективности функционирования транспортной сети. Использование нейронных сетей может увеличить эффективность прогнозирования транспортных потоков на участках улично-дорожной сети. Учитывая сложные и неопределенные характеристики городского дорожного движения, для анализа и прогнозирования транспортного потока используется теория краткосрочного прогнозирования транспортного потока и сверточная нейронная сеть (CNN)*

***Ключевые слова:** прогнозирование транспортных потоков, сверточная нейронная сеть, управление транспортными потоками, интеллектуальная транспортная система*

### **Введение**

В настоящее время основное внимание в решении проблем заторов на дорогах в основном ориентировано на усиление строительства дорожной инфраструктуры, разработку мер регулирования дорожного движения и развитие интеллектуальных транспортных систем [1]. Интеллектуальная транспортная система в основном состоит из системы сбора информации, системы прогнозирования и управления, системы исполнения, системы передачи и связи данных и т. д. Посредством регулирования дорожного движения и управления светофорной сигнализацией, система способствует разработке эффективных стратегий управления для транспортных инженеров, обеспечивает участников дорожного движения информационными услугами, оптимизирует время передвижения и выбор транспортных средств, а также поддерживает высокий уровень качества транспортных услуг. [2]. Поэтому анализ и точное прогнозирование данных о транспортном потоке может уменьшить количество заторов на дорогах и принести большую экономическую выгоду обществу.

### **Материал и методы**

На состояние транспортного потока на городских дорогах легко влияют непредвиденные события, погода и другие факторы, в связи с чем параметры транспортного потока демонстрируют очевидные нелинейные характеристики [3]. В этом случае традиционные модели прогнозирования, основанные на математической статистике, не могут удовлетворить потребности прогнозирования транспортных потоков. Модели нейронных сетей способны хорошо определять характеристики сложных нелинейных систем, а также являются горячей темой в области развития интеллектуальных транспортных систем [4]. Таким образом, в процессе создания модели прогнозирования транспортных потоков на участке дороги внедрение моделей нейронных сетей вполне может удовлетворить потребность в эффективном прогнозировании транспортных потоков.

Исследования по прогнозированию транспортных потоков начались более 50 лет назад. Исследователи предложили множество моделей и методов прогнозирования транспортных потоков, основанных на теории транспортных потоков [5-10]. Эти модели можно разделить на следующие категории: на основе статистической теории, на основе теории нелинейного прогнозирования, на основе теории нейронных сетей и т. д. (рис. 1).

Нейронные сети обладают характеристиками самоадаптации и самообучения и широко исследуются и применяются в области прогнозирования транспортных потоков. Нейронные сети являются важной частью интеллектуальных транспортных систем [11, 12]. Модель



нейронной сети может улучшить собственную модель на основе обучения больших объемов данных и очень хорошо подходит для прогнозирования случайных, динамических и нелинейных транспортных потоков [13, 14].

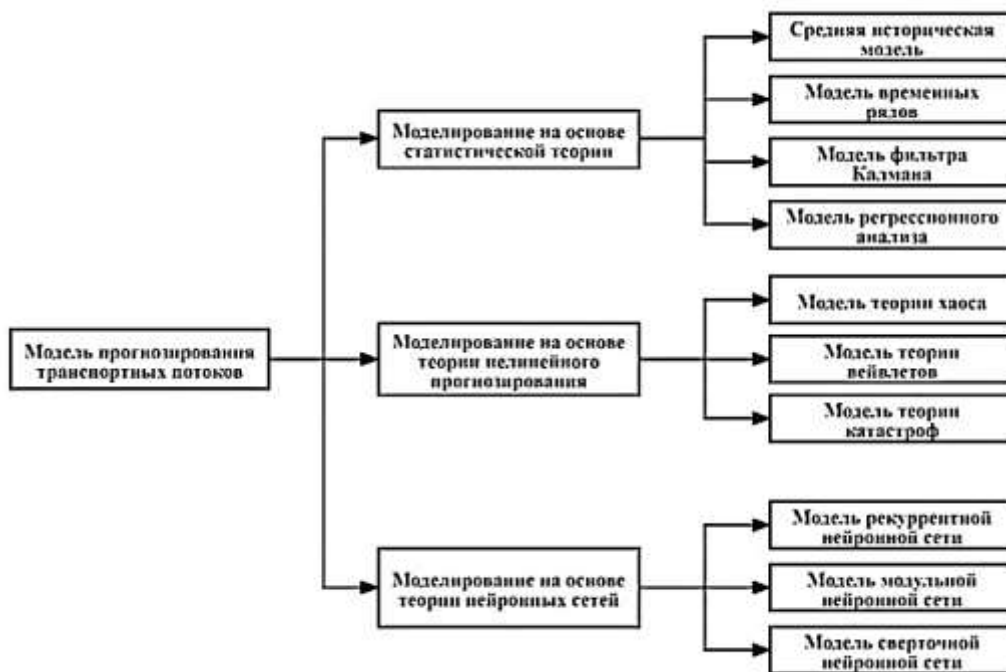


Рисунок 1 – Основные модели прогнозирования транспортных потоков

Приложения в этой области в основном включают использование моделей нейронных сетей на основе единиц, моделей нейронных сетей BP (Back-Plane) и моделей на основе сверточных нейронных сетей для прогнозирования транспортных потоков.

**Расчет**

Сверточные нейронные сети (CNN) – это алгоритм глубокого обучения, в основном используемый при обработке двумерных и одномерных данных, таких как изображения и аудио [15]. При прогнозировании транспортных потоков CNN можно использовать для обработки данных временных рядов, чтобы фиксировать временные характеристики данных транспортных потоков. Типичная CNN состоит из большого количества слоев (рис. 2). После начального слоя сигнал проходит серию свёрточных слоёв, в которых чередуется свёртка и субдискретизация (пулинг). Чередование слоёв позволяет составлять «карты признаков», на каждом следующем слое карта уменьшается в размере, но увеличивается количество каналов. На практике это означает способность распознавания сложных иерархий признаков.

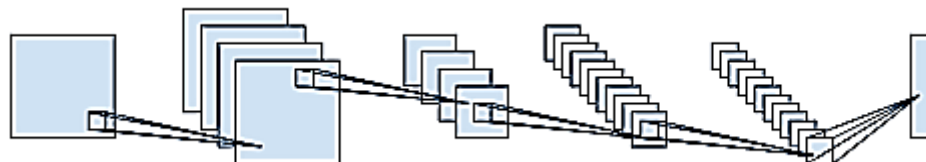


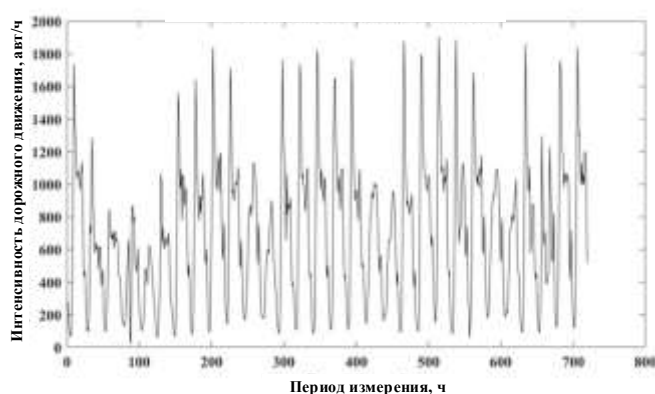
Рисунок 2 – Структура сверточной нейронной сети

Транспортный поток имеет некоторые очевидные характеристики, такие как случайность, периодичность, пространственно-временные характеристики и т. д. Транспортный поток изменяется во времени и пространстве, на него влияют автомобили, пешеходы и другие факторы, демонстрирующие сильную случайность и неопределенность [16, 17]. Поэтому при прогнозировании транспортного потока следует ориентироваться на именно эти его характеристики. Стохастичность относится к характеристике транспортного потока, которая меняется случайным образом с течением времени. Из-за таких факторов, как различные траектории движения, выбранные транспортными средствами на дороге, и влияние внешних событий на

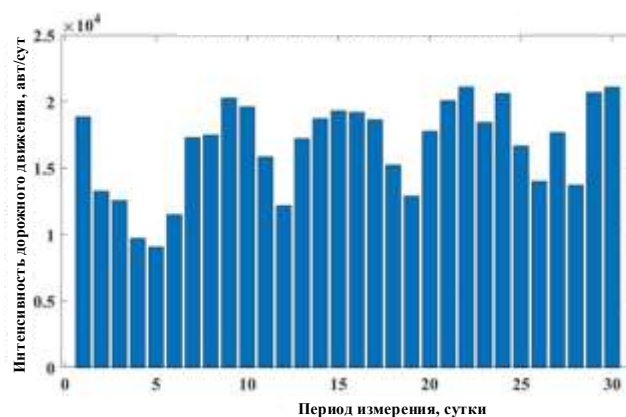
состояние вождения транспортных средств, транспортный поток на разных участках дороги меняется в любое время и демонстрирует сильную случайность.

В этой статье данные о дорожном движении, полученные из открытых источников UTD19 в городе Париже, используются в качестве данных для экспериментов по прогнозированию транспортных потоков [18]. Интервал выборки данных о характеристиках транспортных потоков составляет 60 минут. Данные в основном содержат информацию об идентификации детектора, интенсивности дорожного движения и занятости детектора.

По данным UTD19 в городе Париже на участках магистральной улично-дорожной установлено 99 детекторов транспорта. Для прогнозирования транспортных потоков на основе модели сверточной нейронной сети выбран один детектор №15. На рисунке 3 представлено изменение интенсивности дорожного движения на участке дорожной сети с детектором № 15 в июне 2016 года. На рисунке 4 показано изменение объема движения на этом участке по дням в июне 2016.



**Рисунок 3 – Изменение интенсивности дорожного движения в течение суток в июне 2016**



**Рисунок 4 – Изменение интенсивности дорожного движения в течение июня 2016**

Как видно на рисунках 3 и 4, данные о транспортном потоке имеют ярко выраженный циклический характер. Общий суточный транспортный поток изменяется очень незначительно, изменения транспортного потока в большинстве будних дней в основном схожи, и существует четкая периодичность в транспортном потоке для соответствующих временных периодов с разницей в одну неделю. Сверточные нейронные сети обладают превосходными свойствами, такими как распределение веса и локальные соединения, поэтому они очень подходят для прогнозирования транспортных потоков на основе этого набора данных.

Функция установления операции свертки в Matlab выглядит следующим образом:

$$V = conv2(W, X, "valid") + b, Y = \varphi(V), \quad (1)$$

где  $W$  – матрица разных весов для каждого сверточного слоя;

$X$  – выражаются как матрицы;

$conv2$  – функция операции свертки в Matlab;

$valid$  – тип сверточной нейронной сети;

$b$  – смещение;

$Y = \varphi(V)$  – функция активации.

Для последнего полностью связанного слоя, установленного на  $L$ -й слой, формула общей ошибки выглядит следующим образом:

$$E = \frac{1}{2} \|d - y^L\|_2^2, \quad (2)$$

где  $y^L$  – векторная форма вывода;

$d$  – желаемый вывод.

Градиентные формулы для сверточных слоев и слоев субдискретизации :

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial v_{ij}} \frac{\partial v_{ij}}{\partial w_{ij}} = \delta_{ij} \frac{\partial v_{ij}}{\partial w_{ij}}, \quad (3)$$

где  $\delta = conv2(rot180(W^1), \delta^1, 'Full')\phi'v$ ;

$\partial$  – представлены в матричной форме;

*rot180* – повернуть матрицу на 180 градусов обратно;

*Full* – полная операция свертки.

После подготовки необработанных данных о транспортных потоках их необходимо предварительно обработать для обучения и тестирования модели. Этапы предварительной обработки включают очистку данных, извлечение признаков и секционирование данных. В выборке данных были удалены выбросы и недостающие данные. Извлечение признаков преобразует необработанные данные в представления объектов, подходящие для модели. Набор данных о транспортных потоках Парижа делится на обучающий набор и тестовый набор посредством разделения данных, которое используется для обучения и оценки модели сверточной нейронной сети.

### Результаты и обсуждение

Данные о транспортном потоке за июнь были импортированы в набор данных в Matlab, а затем была использована модель сверточной нейронной сети для прогнозирования транспортного потока на июль. На рисунке 5 показана код части модели сверточной нейронной сети.

```

1 % Clear environment variables
2 warning off % Turn off alarm messages
3 close all % Close the open picture window
4 clear % Clear variables
5 clc % Clear the command line
6
7 % Import data (single column of time series)
8 result = xlsread('123.xlsx');
9
10 % data analysis
11 num_samples = length(result); % Sample size
12 klm = 15; % Delay step (klm historical data as independent variable)
13 sim = 1; % Forecasting across sim points in time
14
15 % Divide the data set
16 for i = 1: num_samples - klm - sim + 1
17     row(i, :) = [result(i-klm-1:i-1, klm), result(i+klm+sim-1)];
18 end
19 % Analysis of data sets
20 outdim = 1; % The last column is the output
21 num_size = 0.7; % Proportion of training set to dataset
22 num_train_s = round(num_size * num_samples); % Number of samples in the training set
23 f_ = size(row, 2) - outdim; % Input feature dimensions
24
25 % Divide the training set and test set
26 P_train = row(1: num_train_s, 1: f_);
27 T_train = row(1: num_train_s, f_ + 1: end);
28 M = size(P_train, 2);
29
30 P_test = row(num_train_s + 1: end, 1: f_);
31 T_test = row(num_train_s + 1: end, f_ + 1: end);
32 N = size(P_test, 2);
33

```

Рисунок 5 – Код части модели сверточной нейронной сети

Затем данные о транспортных потоках прогнозируются и обрабатываются с помощью обученной модели. Прогнозируемые данные и исходные данные об изменении интенсивности дорожного движения на участке дорожной сети с детектором № 15 показаны на рисунке 6.

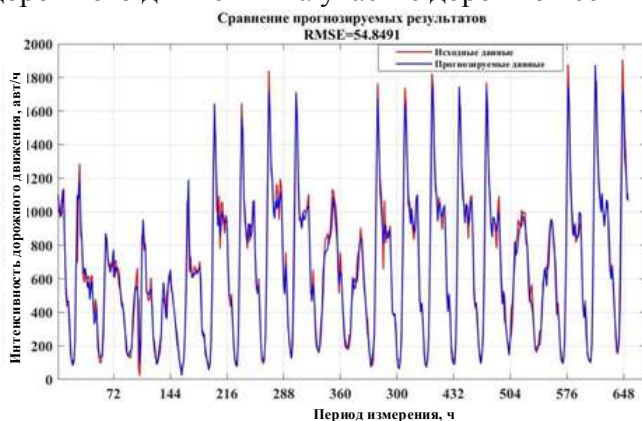


Рисунок 6 – Сравнение результатов прогноза транспортного потока

Из рисунка видно, что разница между прогнозируемыми данными о транспортном потоке и исходными данными не очевидна. Средняя абсолютная ошибка, предсказанная с помощью модели сверточной нейронной сети, составляет 54,8491, что представляет собой разницу в 55 автомобилей в час, что эквивалентно средней разнице менее 1 автомобиля в минуту. Средняя абсолютная процентная ошибка составляет 17,54 %. этой модели можно использовать для прогнозирования транспортных потоков. Путем

дальнейшего сравнения степени соответствия исходных данных о транспортном потоке и прогнозируемых данных можно увидеть, что  $R^2=0,9868$  данных, предсказанных моделью нейронной сети. Степень соответствия показана на рисунке 7.

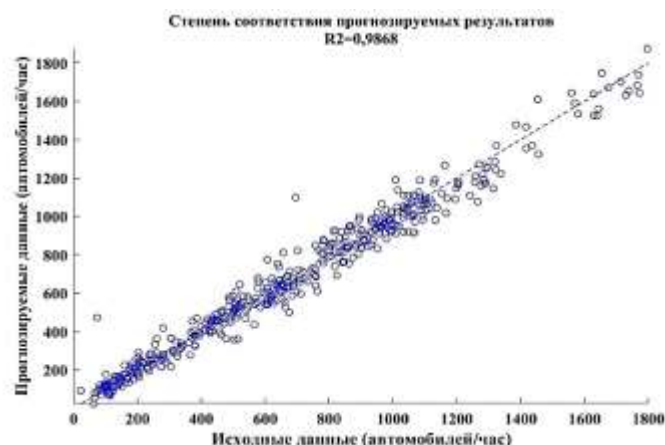


Рисунок 7 – Степень соответствия прогнозируемых результатов

зрения и могут предоставить полный спектр результатов оценки [19-21]. Для дальнейшей проверки точности данных прогнозирования транспортных потоков были проведены следующие эксперименты в разных группах. Эксперимент включал данные о транспортном потоке, собранные детекторами №15 и №18, за период с января по май. Производительность модели была протестирована путем изучения среднеквадратической ошибки (RMSE), средней абсолютной ошибки (MAE) и стандартного отклонения (МВЕ) между исходными данными о транспортном потоке и прогнозируемыми данными. Результаты моделирования приведены в таблице 1.

Таблица 1– Сравнение производительности прогнозирования модели

Точки мониторинга	Дата	RMSE	MAE	МВЕ
№ 15	Январь 2016 г.	31,724	39,693	35,125
	Февраль 2016 г.	34,155	41,384	37,414
	Март 2016 г.	33,304	39,175	32,119
	Апрель 2016 г.	49,965	54,148	49,167
	Май 2016 г.	37,382	56,483	43,124
№ 18	Январь 2016 г.	49,351	37,913	31,452
	Февраль 2016 г.	37,332	46,478	36,461
	Март 2016 г.	37,317	39,187	30,015
	Апрель 2016 г.	35,315	50,533	39,137
	Май 2016 г.	40,802	46,704	37,169

MAE и МВЕ представляют собой среднюю абсолютную ошибку между прогнозируемым значением модели и истинным значением. Чем меньше значения MAE и МВЕ, тем выше точность прогнозирования модели и тем точнее модель может предсказать истинное значение. Большинство значений MAE и МВЕ в таблице находятся в пределах 30-40, поэтому точность прогнозирования транспортного потока приемлема. RMSE измеряет степень отклонения между прогнозируемым значением и истинным значением. Чем меньше значение RMSE, тем меньше ошибка прогноза модели и тем выше точность прогноза модели. Значения RMSE результатов прогнозирования в основном находятся в пределах 35-40, поэтому точность модели соответствует потребностям прогнозирования транспортных потоков.

### Выводы

В данной статье рассматривается применение набора данных о транспортных потоках в Париже и модели сверточной нейронной сети для прогнозирования этих потоков. Модель была использована для анализа значительного объема данных о трафике и обучения соответствующих алгоритмов. Проведенная проверка степени соответствия полученных данных и



различных оценочных показателей показала, что модель сверточной нейронной сети способна генерировать более точные прогнозы транспортных потоков. Таким образом, применение алгоритмов нейросетей позволяет оптимизировать результаты прогнозирования транспортных потоков, усовершенствовать стратегии управления этими потоками и повысить эффективность работы дорожных сетей. В будущем, благодаря интеграции алгоритмов анализа данных, моделирования и оптимизации, можно будет достичь еще более точных прогнозов транспортных потоков. Постоянное развитие технологий дает основания полагать, что прогнозирование транспортных потоков с использованием глубокого обучения и алгоритмов оптимизации будет играть все более значимую роль в управлении городским транспортом [22, 23].

### **Благодарность**

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

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Jiuxiang Gu, Zhenhua Wang, Jason Kuen, Lianyang Ma, Amir Shahroudy, Bing Shuai, Ting Liu, Xingxing Wang, Gang Wang, Jianfei Cai, Tsuhan Chen, Recent advances in convolutional neural networks [Электронный ресурс] / Pattern Recognition. Vol. 77. 2018. P. 354-377. URL: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.10.013>.
2. Vedaldi A., Lenc K. Matconvnet: Convolutional neural networks for matlab // Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia. 2015. P. 689-692.
3. Taye M.M. Theoretical Understanding of Convolutional Neural Network [Электронный ресурс] / Concepts, Architectures, Applications, Future Directions. Computation. 2023. №11. P. 52. URL: <https://doi.org/10.3390/computation11030052>.
4. Jiber M., Lamouik I., Ali Y., Sabri M.A. Traffic flow prediction using neural network // International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV), Fez, Morocco. 2018. P. 1-4. doi: 10.1109/ISACV.2018.8354066.
5. Licheng Qu et al. Daily long-term traffic flow forecasting based on a deep neural network. Expert Syst. Appl. 121. 2019. P. 304-312.
6. Medina-Salgado B., Sánchez-DelaCruz E., Pozos-Parra P., Sierra J.E. Urban traffic flow prediction techniques: A review // Sustainable Computing: Informatics and Systems. №35. 2022. P. 100739.
7. Polson N.G., Sokolov V.O. Deep learning for short-term traffic flow prediction // Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. №79. 2017. P. 1-17.
3. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Юнг А.А. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. №1. С. 126-134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126.
4. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Васильева В.В. Внедрение интеллектуальной транспортной системы Ramp Metering на примере г. Белгород // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №4(63). С. 42-48.
10. 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.
11. Wang H., Zhang R., Cheng X., Yang L. Hierarchical Traffic Flow Prediction Based on Spatial-Temporal Graph Convolutional Network // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Vol. 23. № 9. 2022. P. 16137-16147. doi: 10.1109/TITS.2022.3148105.
12. He Li, Xuejiao Li, Liangcai Su, Duo Jin, Jianbin Huang, and Deshuang Huang. 2022 [Электронный ресурс] / Deep Spatio-temporal Adaptive 3D Convolutional Neural Networks for Traffic Flow Prediction. ACM Trans. Intell. Syst. Technol. P. 19- 21. URL: <https://doi.org/10.1145/3510829>.
13. Duan Y., Chen N., Shen S., Zhang P., Qu Y., Yu S. FDSA-STG: Fully Dynamic Self-Attention Spatio-Temporal Graph Networks for Intelligent Traffic Flow Prediction // IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 71. №9. 2022. P. 9250-9260. doi: 10.1109/TVT.2022.3178094.
14. Булатова О.Ю., Зырянов В.В. Организация безопасного движения пешеходных потоков при проведении городских массовых мероприятий // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2024. №2. С. 57-63. DOI 10.36535/0236-1914-2024-02-8. EDN MVJJIC.
15. Zhu J. et al. KST-GCN: A Knowledge-Driven Spatial-Temporal Graph Convolutional Network for Traffic Forecasting // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Vol. 23. №9. 2022. P. 15055-15065. doi: 10.1109/TITS.2021.3136287.
16. Khan R.H., Miah J., Arafat S.M.Y., Syeed M.M.M., Ca D.M. Improving Traffic Density Forecasting in Intelligent Transportation Systems Using Gated Graph Neural Networks // 15th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT). United Arab Emirates. 2023. P. 104-109. doi: 10.1109/IIT59782.2023.10366426.
17. Петрушин В.А., Бугаков П.Ю. Разработка программного обеспечения на основе нейросети для оптимизации и анализа дорожного трафика [Электронный ресурс] / Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-programmnogo-obespecheniya-na-osnove-neyroseti-dlya-optimizatsii-i-anal>.
18. UTD19 [Электронный ресурс] // URL: <https://utd19.ethz.ch/index.html>.
19. Цзян Ц., Феофилова А.А. методы краткосрочного прогнозирования транспортных потоков на основе больших данных // Наука и инновации в современном мире: Материалы Национальной научно-практической конференции. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. 2024. С. 5-9.

20. Цзян Ц. Исследование методов заполнения недостающих данных при прогнозировании транспортных потоков // Актуальные проблемы науки и техники: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет. 2024. С. 682-684.

21. Феофилова А.А., Цзян Ц. Управление и контроль транспортных потоков интеллектуальной системой // Молодой исследователь Дона. 2024. Т. 9. №2(47). С. 45-49.

22. Новиков А.Н., Севостьянов А.Л., Катунин А.А., Кулев А.В. Применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для повышения эффективности функционирования городского общественного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2013. №1(40). С. 85-90.

23. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия. 2022. 205 с.

**Цзян Цзисяо**

Донской государственный технический университет

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

Аспирант

E-mail: 3396945068@qq.com

**Феофилова Анастасия Александровна**

Донской государственный технический университет

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

Доцент кафедры «Организация перевозок и дорожного движения»

E-mail: feofilowa@mail.ru

**Шевцова Анастасия Геннадьевна**

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

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

E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

**Васильева Виктория Владимировна**

Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева

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

К.т.н., доцент, доцент кафедры сервис и ремонт машин

E-mail: vivaorel57@gmail.com

---

J. JIXIAO, FEOFILOVA A.A., SHEVTSOVA A.G., VASILYEVA V.V.

## TRAFFIC FLOW PREDICTION BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK MODEL

***Abstract.** Traffic flow prediction mainly uses traffic flow data obtained by intelligent transportation systems to predict future traffic flows to better plan traffic. Because the traffic flow prediction model based on neural network can predict the traffic status of a single road section very well. Therefore, in view of the complex and uncertain characteristics of urban road traffic flow, this paper uses traffic flow short-term prediction theory and convolutional neural network (CNN) to analyze and predict urban road traffic flow.*

***Keywords:** traffic flow prediction, convolutional neural network, traffic flow management, intelligent transportation system*

### BIBLIOGRAPHY

1. Jiuxiang Gu, Zhenhua Wang, Jason Kuen, Lianyang Ma, Amir Shahroudy, Bing Shuai, Ting Liu, Xingxing Wang, Gang Wang, Jianfei Cai, Tshuan Chen, Recent advances in convolutional neural networks [Elektronnyy resurs] / Pattern Recognition. Vol. 77. 2018. P. 354-377. URL: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.10.013>.

2. Vedaldi A., Lenc K. Matconvnet: Convolutional neural networks for matlab // Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia. 2015. R. 689-692.

3. Taye M.M. Theoretical Understanding of Convolutional Neural Network [Elektronnyy resurs] / Concepts, Architectures, Applications, Future Directions. Computation. 2023. №11. R. 52. URL: <https://doi.org/10.3390/computation11030052>.

4. Jiber M., Lamouik I., Ali Y., Sabri M.A. Traffic flow prediction using neural network // International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV), Fez, Morocco. 2018. R. 1-4. doi: 10.1109/ISACV.2018.8354066.

5. Licheng Qu et al. Daily long-term traffic flow forecasting based on a deep neural network. Expert Syst. Appl. 121. 2019. R. 304-312.

6. Medina-Salgado B., S'anchez-DelaCruz E., Pozos-Parra P., Sierra J.E. Urban traffic flow prediction techniques: A review // *Sustainable Computing: Informatics and Systems*. №35. 2022. P. 100739.
7. Polson N.G., Sokolov V.O. Deep learning for short-term traffic flow prediction // *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*. №79. 2017. P. 1-17.
3. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., YUng A.A. Otsenka vliyaniya parametrov avtomobiley na znachenie potoka nasyshcheniya // *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. 2022. №1. S. 126-134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126.
4. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Vasil'eva V.V. Vnedrenie intellektual'noy transportnoy sistemy Ramp Metering na primere g. Belgorod // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2018. №4(63). S. 42-48.
10. 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.
11. Wang H., Zhang R., Cheng X., Yang L. Hierarchical Traffic Flow Prediction Based on Spatial-Temporal Graph Convolutional Network // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 23. № 9. 2022. R. 16137-16147. doi: 10.1109/TITS.2022.3148105.
12. He Li, Xuejiao Li, Liangcai Su, Duo Jin, Jianbin Huang, and Deshuang Huang. 2022 [Elektronnyy resurs] / Deep Spatio-temporal Adaptive 3D Convolutional Neural Networks for Traffic Flow Prediction. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.* R. 19- 21. URL: <https://doi.org/10.1145/3510829>.
13. Duan Y., Chen N., Shen S., Zhang P., Qu Y., Yu S. FDSA-STG: Fully Dynamic Self-Attention Spatio-Temporal Graph Networks for Intelligent Traffic Flow Prediction // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Vol. 71. №9. 2022. R. 9250-9260. doi: 10.1109/TVT.2022.3178094.
14. Bulatova O.YU., Zyryanov V.V. Organizatsiya bezopasnogo dvizheniya peshekhodnykh potokov pri provedenii gorodskikh massovykh meropriyatii // *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik*. 2024. №2. S. 57-63. DOI 10.36535/0236-1914-2024-02-8. EDN MVJJIC.
15. Zhu J. et al. KST-GCN: A Knowledge-Driven Spatial-Temporal Graph Convolutional Network for Traffic Forecasting // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 23. №9. 2022. R. 15055-15065. doi: 10.1109/TITS.2021.3136287.
16. Khan R.H., Miah J., Arafat S.M.Y., Syeed M.M.M., Ca D.M. Improving Traffic Density Forecasting in Intelligent Transportation Systems Using Gated Graph Neural Networks // *15th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)*. United Arab Emirates. 2023. R. 104-109. doi: 10.1109/IIT59782.2023.10366426.
17. Petrushin V.A., Bugakov P.YU. Razrabotka programmnoy obespecheniya na osnove neyroseti dlya optimizatsii i analiza dorozhnogo trafika [Elektronnyy resurs] / *Interekspe Geo-Sibir`*. 2020. No.1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-programmnogo-obespecheniya-na-osnove-neyroseti-dlya-optimizatsii-i-anal>.
18. UTD19 [Elektronnyy resurs] // URL: <https://utd19.ethz.ch/index.html>.
19. TSzyan TS., Feofilova A.A. metody kratkosrochnogo prognozirovaniya transportnykh potokov na osnove bol'shikh dannykh // *Nauka i innovatsii v sovremennom mire: Materialy Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiiy universitet im. G.F. Morozova*. 2024. S. 5-9.
20. TSzyan TS. Issledovanie metodov zapolneniya nedostayushchikh dannykh pri prognozirovanii transportnykh potokov // *Aktual'nye problemy nauki i tekhniki: Materialy Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. Rostov-na-Donu: Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet*. 2024. S. 682-684.
21. Feofilova A.A. TSzyan TS. Upravlenie i kontrol` transportnykh potokov intellektual'noy // *Molodoy issledovatel` Dona*. 2024. T. 9. No.2(47). S. 45-49.
22. Novikov A.N., Sevost`yanov A.L., Katunin A.A., Kulev A.V. Primenenie intellektual'nykh transportnykh sistem (ITS) dlya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo obshchestvennogo transporta // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2013. No.1(40). S. 85-90.
23. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya. 2022. 205 s.

**Jiang Jixiao**

Don State Technical University  
Adress: 344000, Russia, Rostov-on-Don  
Postgraduate student  
E-mail: 3396945068@qq.com

**Feofilova Anastasia Alexandrovna**

Don State Technical University  
Adress: 344000, Russia, Rostov-on-Don  
Associate Professor of Traffic management and transportation department  
E-mail: feofilowa@mail.ru

**Shevtsova Anastasia Gennad'evna**

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

**Vasilyeva Victoria Vladimirovna**

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



Научная статья  
УДК 656.13.072:338  
doi:10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-134-142

А.Н. НОВИКОВ, С.А. ЖЕСТКОВА

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СЕТЕВОЙ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ ОАО «МАГНИТ»

**Аннотация.** В статье рассматривается применение разработанной методики по определению расположения региональных распределительных центров. На основе предложенной методики, было разработано программное обеспечение. Приведены результаты применения разработанной методики на примере распределительного центра компании «Магнит» в Пензенской области. Для расчетов использовались потребности магазинов и координаты их расположения. Применение разработанной методики позволило сократить количество маршрутов, за смену и времени на доставку груза.

**Ключевые слова:** координаты, подвижной состав, транспортная работа, доставка, маршрут

### **Введение**

При любых видах транспорта центральное место занимает решение вопроса о расположении центра распределения товара, так как до 50 % издержек приходится на передвижение товарных потоков. Операции и процессы, связанные с доставкой товара играют решающую роль в эффективности всей логистической системы. Все логистические операции могут быть различны и должны быть направлены на минимизацию затрат и повышения качества обслуживания.

Единого общепринятого параметра, который правильно отражал сущность перемещения товарных потоков на автомобильном транспорте к настоящему времени не найден.

### **Материал и методы**

Для решения поставленной задачи была разработана методика по определению расположения регионального центра распределения [1-2]. Критерием оптимального его расположения является наименьшая транспортная работа от распределительного узла в торговые предприятия [3-6]. Разработанная методика включает в себя несколько этапов:

На первом этапе определяется район наиболее вероятного нахождения регионального центра. Вычисляем координаты грузового центра тяжести по формулам теоретической механики.

$$x_c = \frac{h_1 x_1 + h_2 x_2 + \dots + h_i x_i}{h_1 + h_2 + \dots + h_i}; \quad (1)$$

$$y_c = \frac{h_1 y_1 + h_2 y_2 + \dots + h_i y_i}{h_1 + h_2 + \dots + h_i}, \quad (2)$$

где  $x_c$  и  $y_c$  – координаты расположения грузового центра тяжести;

$x_i$  и  $y_i$  – координаты  $i$ -го пункта;

На втором этапе осуществляется определение рационального расположения регионального центра. Проектируем оптимальные маршруты доставки груза с каждого расчетного узла методом «Фиктивных узлов и ветвей» [7-9].

На следующем этапе рассчитываем транспортную работу и координаты центра тяжести на каждой ветви маршрута.

Транспортная работа состоит из транспортной работы, затрачиваемой на перемещение груза и работы, которая тратится на движение автомобиля:

$$W_i = W_i^{ep} + \dots + W^{aem}, \quad (3)$$

где  $W_i^{ep}$  – транспортная работа на перемещение груза;

$W^{aem}$  – работа на перемещение автомобиля.

Тогда формула (3) для ветви преобразуется к виду:

$$W_i = (q_i + Q_i)l_i, \quad (4)$$

где  $q_i$  – масса груза в кузове автомобиля на ветви маршрута между соседними пунктами;

$Q_i$  – собственная масса автомобиля;

$l_i$  – длина ветви между соседними пунктами маршрута

Координаты центра тяжести на каждой ветви маршрута определяются по формуле:

$$x_c = \frac{W_1x_1 + W_2x_2 + \dots + W_ix_i}{W_1 + W_2 + \dots + W_i}, \quad (5)$$

$$y_c = \frac{W_1y_1 + W_2y_2 + \dots + W_iy_i}{W_1 + W_2 + \dots + W_i}. \quad (6)$$

Здесь  $W_i$  – работа на  $i$  – ой ветви. Ее координаты на ветви обозначены через  $x_i$  и  $y_i$ .

На четвертом этапе вычисляем координаты регионального центра.

На основе предложенной методики была разработана программа Distribution Center № 2024614147, которая позволяет определить расположение регионального распределительного центра материальных потоков, блок схема программы приведена на рисунке 1.

### **Расчет**

Разработанная методика была применена на практике, на примере регионального распределительного центра компании «Магнит» в Пензенской области. Координаты торговых предприятий и распределительного центра приведены в табл. 1. Для доставки груза в торговые точки использовалась грузоподъемность автомобилей до 10 т, за основу была взята одна смена развозки груза по городу Пенза. Между торговыми предприятиями П1-П25 ветви аппроксимированы линейными функциями. В качестве критерия оптимизации выбирается наименьшее значение величины транспортной работы.

$$\sum_{i=1}^n W_i \rightarrow \min. \quad (7)$$

### **Результаты и обсуждение**

На первом этапе определяется точка центра тяжести (1), (2), наносим на карту полученную точку (рис. 2).

$$x_c = \frac{q_1x_1 + q_2x_2 + \dots + q_ix_i}{q_1 + q_2 + \dots + q_i} = \frac{6691,297937}{126} = 53,10553918 \quad - \text{широта};$$

$$y_c = \frac{q_1y_1 + q_2y_2 + \dots + q_iy_i}{q_1 + q_2 + \dots + q_i} = \frac{5647,665079}{126} = 44,82273872 \quad - \text{долгота}.$$

На втором этапе находим по карте расчетные узлы, расположенные около временного центра тяжести. В данном случае, наиболее близко расположенные расчетные узлы – П2, П-5 (рис. 2).

На третьем этапе проектируем оптимальные маршруты и вычисляем работу относительно расчетных узлов (3), (табл. 2).

На четвертом этапе рассчитываем координаты общих центров работы (5), (6), далее считаем среднее значение РЦ (табл. 2).

Для определения эффективности предложенной методики были определены, показали работы подвижного состава при доставке груза с распределительного центра Пенза ОА «Тандер», на основе использования путевых листов за смену (табл. 3, рис. 4) и с расчетного распределительного центра (табл. 4, рис. 5).

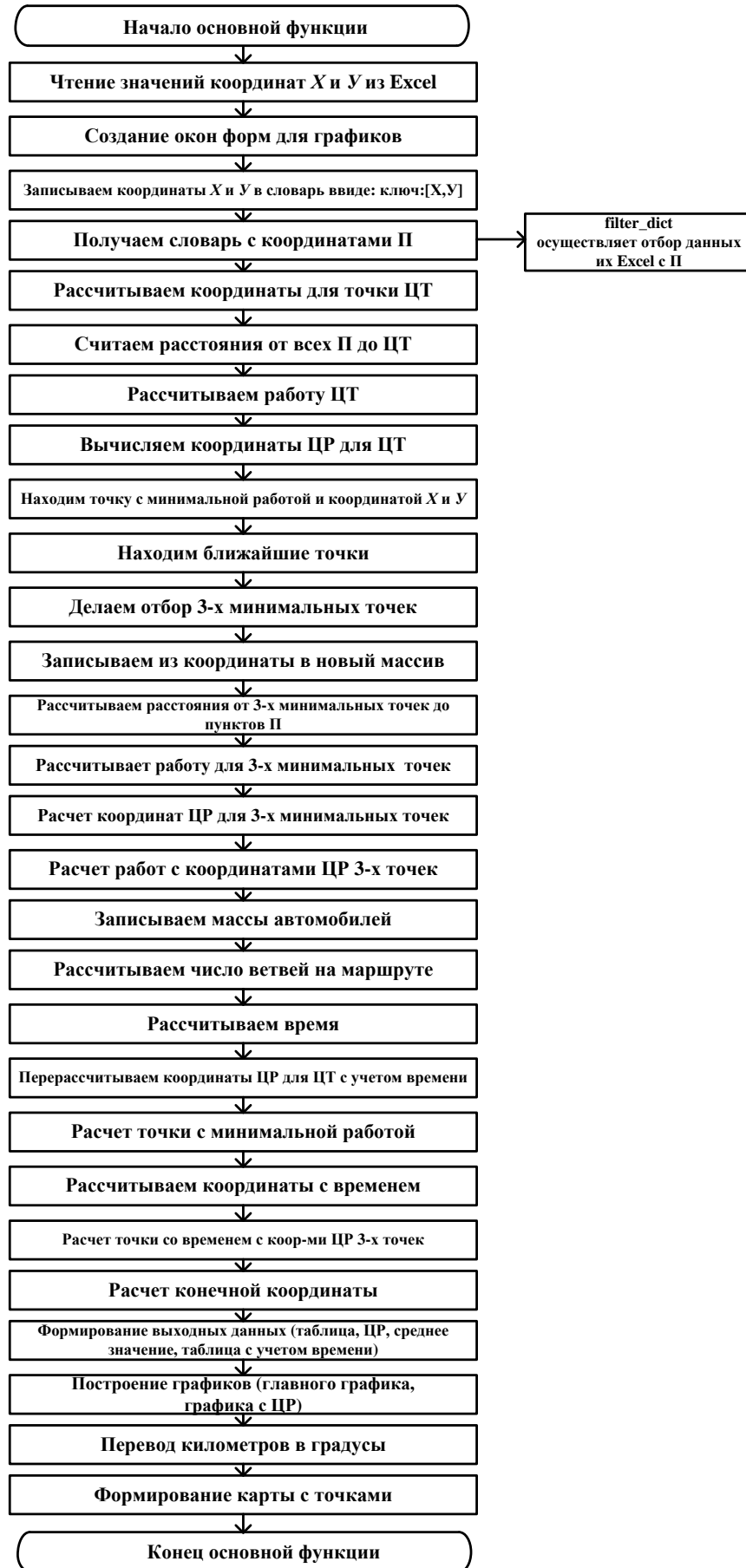


Рисунок 1 - Блок схема программы по определению расположения регионального центра

Таблица 1 - Исходные данные

№ точки	X	y	№ точки	X	y
П1 Фефелово	53,209988	44,989552	П14 Корида	53,207863	45,004257
П2 Римесса	53,140898	45,039094	П15 Тортоса	52,444453	44,210111
П3 Кроули	53,139996	45,03427	П16 Ясеньки	53,247921	45,245877
П4 Преследователь	53,142437	45,031997	П17 Невесомость	53,197286	43,977725
П5 Откочевывание	53,167962	45,005012	П18 Суета	53,184310	44,053166
П6 Сетубаль	53,220665	45,252507	П19 Экипаж	53,191120	43,984265
П7 Лобановская	53,167401	45,004877	П20 Оттенок	53,191120	43,984265
П8 Рассказ	52,689844	44,533082	П21 Ребекка	52,478380	44,215644
П9 Вероятность	53,187909	44,979536	П22 Вязьма	52,698795	44,528069
П10 Десерт	53,215472	44,983129	П23 Отплата	52,700760	44,534250
П11 Авторефрижератор	53,226045	44,931467	П24 Вьяс	53,596547	45,221910
П12 Шемышейский	52,889083	45,391889	П25 Милявский	53,586221	45,224937
П13 Вайкики	52,820056	45,056728	РЦ	53,19689733	44,99965357

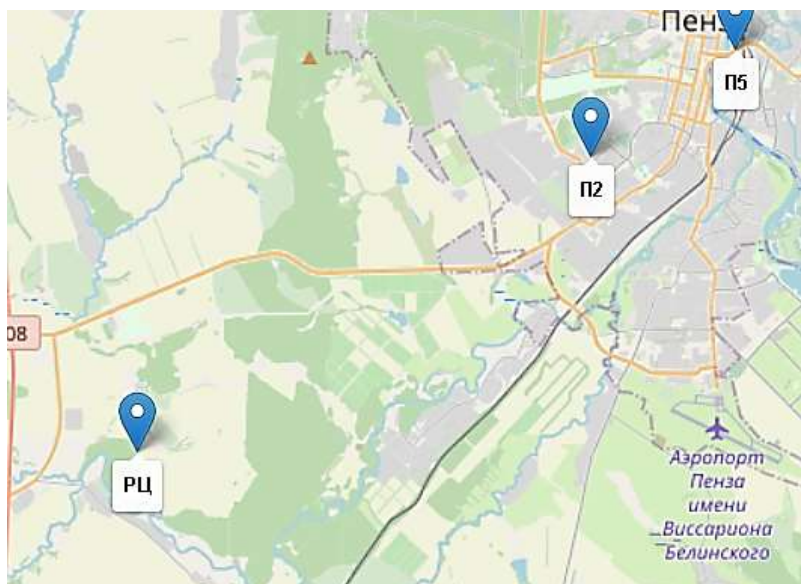


Рисунок 2 – Расположение на карте временного центра тяжести по критерию – работа

Таблица 2 - Результаты расчета

Начало отсчета	x	y	l, км	P, т.км
П2	53,15954	44,90662	1673	22386,65
П5	53,11999	44,98556	1543	20645,06
среднее	53,139765	44,94609		

Далее ставим на карте среднюю точку и располагаем в ней РЦ (рис. 3).

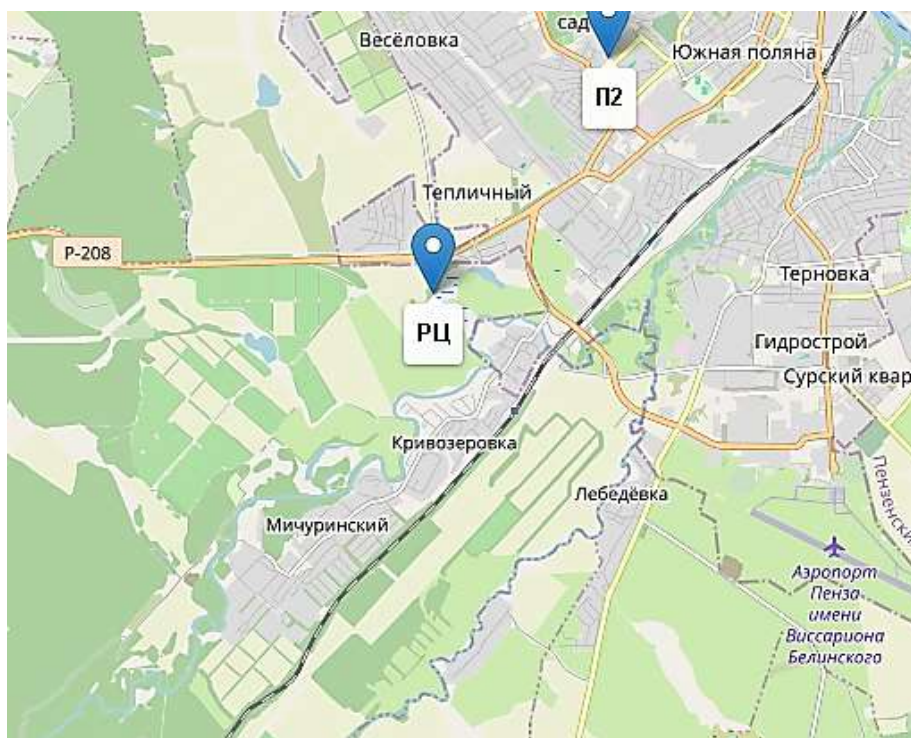


Рисунок 3 - Схема дислокации расчетного распределительного центра с учетом критерия транспортной работы

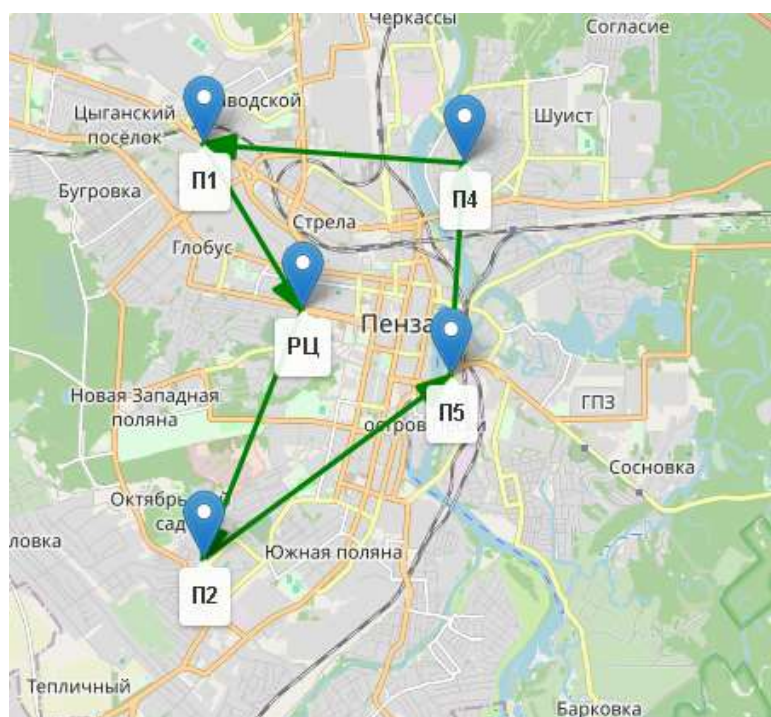


Рисунок 4 - Существующая схема доставки груза с распределительного центра в торговые точки (1 маршрут)

Для расчета транспортной работы, выполняемой автомобилями для доставки товара, устанавливались:

$G_{ij}$  – масса груза, перевезенным  $i$ -ым транспортным средством по  $j$ -ому маршруту;  
 $t_{ij}$  – время нахождения  $i$ -ого транспортного средства на  $j$ -ом маршруте;



$\sum l_j^{TE}$  – суммарная длина грузовых звеньев на  $j$ -ом маршруте;

$\sum l_j^X$  – суммарная длина холостых пробегов на  $j$ -ом маршруте;

$l_j$  – длина  $j$ -го маршрута;

$g$  – масса груза  $j$ -ом маршруте в каждое торговое предприятие.

Таблица 3 - Показатели работы подвижного состава при доставке груза с распределительного центра Пенза АО «Тандер»

№ авто-моби-ля	№ марш-рута	Пункт торговой сети	Кол-во паллет	$l$ , км	$T$ , час	$l^{ce}$ , км	$W$ , т.км	$U$ , т/ч
1	1	Фефелово	2	81	4,74	76,2	1950,72	5,40
		Римесса	5					
		Кроули	4					
		Преследователь	5					
2	2	Откочевывание	6,5	104	7,37	70,7	1979,6	3,79
		Сетубаль	5					
		Лобановская	6					
3	3	Рассказ	1,5	218	2,94	134,4	3225,6	8,16
		Вероятность	6,5					
		Десерт	7					
4	4	Авторефрижератор	6	149	4,18	107,33	2572,92	5,74
		Шемышейский	3,5					
		Вайкики	5,5					
5	5	Корида	3,5	251	4,44	98,6	2445,28	5,58
		Тортоса	6,5					
		Ясенки	5,5					
6	6	Невесомость	4,5	225	4,11	83	2191,2	6,42
		Сеута	7					
		Экипаж	3,5					
		Отенок	1,5					
7	7	Ребекка	1,5	252	5,82	130,38	3233,42	4,26
		Вязьма	5,5					
		Оплата	6					
		Рассказ	2,5					
8	8	Вьяс	6	173	4,5	76,84	1844,16	5,33
		Милявский	9					
Итого			126	1453	45,43	777,45	19442,9	44,68

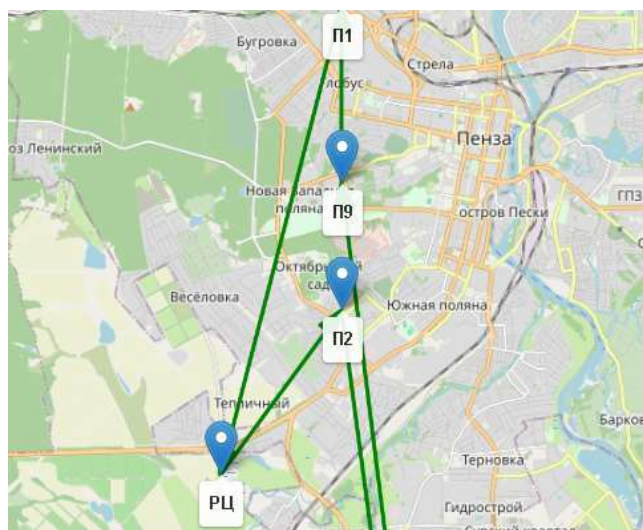


Рисунок 5 - Схема доставки груза с расчетного распределительного центра в торговые точки (1 маршрут)



Таблица 4 - Расчетные показатели работы подвижного состава при доставке груза с расчетного распределительного центра Пенза АО «Тандер»

№ авто-моби-ля	№ марш-рута	Пункт торговой сети	Кол-во паллет	<i>l</i> , км	<i>T</i> , час	<i>l<sup>ср</sup></i> , км	<i>W</i> , т.км	<i>U</i> , т/ч
1	1	Вайкики	5,5	133	5,22	109	2048,4	3,64
		Фефелово	2					
		Вероятность	6,5					
		Римесса	5					
2	2	Вьяс	9	165	5,63	136	1872	3,37
		Милявский	6					
		Кроули	4					
3	3	Тортоса	6,5	185	5,3	131	1677,2	2,42
		Ясеньки	5,5					
		Рассказ	4					
4	4	Авторефрижератор	6	149	5,47	122	1602,4	3,47
		Лобановская	6					
		Десерт	7					
5	5	Корида	3,5	330	8,67	290	3528	2,19
		Сеута	7					
		Экипаж	3,5					
6	6	Сетубаль	5	136	5,23	112	1855,6	2,29
		Шемьшейский	3,5					
		Откочевывание	6,5					
		Преследователь	5					
7	7	Невесомость	4,5	255	6,82	202	3302,6	2,79
		Оттенок	1,5					
		Ребекка	1,5					
		Вязьма	5,5					
		Оплата	6					
Итого			126	1354	42,34	1102	15886,2	20,17

**Выводы**

1. Применение разработанной методики на примере компании ОАО «Магнит» показало, что разработанный алгоритм позволяет более точно находить рациональное расположение центра распределения материальных потоков.

2. Проведённый сравнительный анализ показателей работы подвижного состава по развозке грузов до и после внедрения предложенных мероприятий показал, что применение разработанной методики позволило сократить количество маршрутов, а время и длину маршрутов на 7 % .

3. Использование критерия транспортной работы в разработанной методике, позволило с помощью аппроксимации траектории передвижения кусочно-линейной функцией учесть криволинейность маршрутов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Домке Э.Р., Жесткова С.А., Акимова, В.Ю. Особенности решения задачи маршрутизации транспорта методом ветвей и границ // Вестник МАДИ (ГТУ). 2012. №2(29). С. 76-79.
2. Жесткова С.А. Использование метода ветвей и границ при решении задач маршрутизации транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №1. С. 94-101.
3. Жесткова С.А. Повышение эффективности управление процессами перевозок сетевой доставки груза автомобильным транспортом // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-3(86). С. 34-39.
4. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методические аспекты определения расположения распределительного центра на основе критерия времени методом фиктивных узлов и ветвей. 2024. №2-1(85). С. 31-38.
5. 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.

6. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методические аспекты определения координат центра распределения материальных потоков // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(83). С. 74-81.
7. Thompson P.M., Psorafitis H.N. Cyclic transfers algorithms for the multivehicle routing and scheduling problems // Operations research. 1993. Т. 41. №53. P. 935-946.
8. 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.
9. Sedighpour M., Yousefikhoshbakht M., Narges M.D. An effective genetic algorithm for solving the multiple traveling salesman problem // Journal of Optimization in Industrial Engineering. 2012. Vol. Vol. 4. №8. P.73-79.
10. Зедгенизов А.В. Нормативное обеспечение оценки транспортного спроса на основе характеристик землеиспользования // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 3-2(86). С. 68-73. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-68-73. EDN AOSNVS.
11. 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 RPJVYD.
12. Годованый К.А., Зырянов В.В., Колобов А.И., Мамаев Э.А. О моделях трансформации деятельности логистического оператора // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2024. №1(93). С. 55-65. DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_1\_55. EDN EJJZPM.
13. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of new-generation anti-icing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // Transportation Research Procedia. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.
14. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Максимальная пропускная способность полосы при поворотном маневре // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №2. С. 188-191.
15. Цзинь Ц., Зырянов В.В. Определение ключевых факторов, влияющих на дорожно-транспортные происшествия: применение факторного анализа // Мир транспорта и технологических машин. №3-2(86). 2024. С. 82-88. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-82-88. EDN FDYBPV.

**Новиков Александр Николаевич**

Орловский государственный университет им. Тургенева И.С.

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

Д.т.н., профессор

E-mail: novikovan58@bk.ru

**Жесткова Светлана Анатольевна**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

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

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

---

A.N. NOVIKOV, S.A. ZHESTKOVA

## IMPROVEMENT OF TRANSPORT SERVICES FOR THE NETWORK DELIVERY OF GOODS BY ROAD ON THE EXAMPLE OF JSC MAGNIT

***Abstract.** The article discusses the application of the developed methodology for determining the location of regional distribution centers. Based on the proposed methodology, software was developed. The results of the application of the developed methodology are presented on the example of the distribution center of the Magnit company in the Penza region. The needs of the stores and the coordinates of their location were used for calculations. The application of the developed methodology made it possible to increase the productivity of rolling stock and reduce the time for cargo delivery.*

***Keywords:** coordinates, rolling stock, transport work, delivery, route*

### BIBLIOGRAPHY

1. 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.
2. ZHestkova S.A. Ispol'zovanie metoda vetvey i granits pri reshenii zadach marshrutizatsii transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2012. №1. S. 94-101.
3. ZHestkova S.A. Povyshenie effektivnosti upravleniya protsessami perevozok setevoy dostavki gruzav avtomobil'nym transportom // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-3(86). S. 34-39.

4. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodicheskie aspekty opredeleniya raspolozheniya raspredelitel'nogo tsentra na osnove kriteriya vremeni metodom fiktivnykh uzlov i vetvey. 2024. №2-1(85). S. 31-38.
5. 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.
6. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodicheskie aspekty opredeleniya koordinat tsentra raspredeleniya material'nykh potokov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-1(83). S. 74-81.
7. Thompson P.M., Psoraitis H.N. Cyclic transfers algorithms for the multivehicle routing and scheduling problems // Operations research. 1993. T. 41. №53. R. 935-946.
8. 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.
9. Sedighpour M., Yousefikhoshbakht M., Narges M.D. An effective genetic algorithm for solving the multiple traveling salesman problem // Journal of Optimization in Industrial Engineering. 2012. Vol. 4. №8. P.73-79.
10. Zedgenizov A.V. Normativnoe obespechenie otsenki transportnogo sprosa na osnove kharakteristik zemleispol'zovaniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. № 3-2(86). S. 68-73. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-68-73. EDN AOSNVS.
11. Krivolapova O.YU. Metod opredeleniya uchastkov pereraspredeleniya transportnoy nagruzki na seti // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy. 2013. T. 7. №21(124). S. 77-80. EDN RPJVYD.
12. Godovanyy K.A., Zyryanov V.V., Kolobov A.I., Mamaev E.A. O modelyakh transformatsii deyatelnosti logisticheskogo operatora // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2024. №1(93). S. 55-65. DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_1\_55. EDN EJJZPM.
13. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of new-generation antiicing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // Transportation Research Procedia. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.
14. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Maksimal'naya propusknaya sposobnost' polosy pri povorotnom manevre // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2013. №2. S. 188-191.
15. TSzin` TS., Zyryanov V.V. Opredelenie klyuchevykh faktorov, vliyayushchikh na dorozhno-transportnye proisshestiya: primeneniye faktornogo analiza // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. №3-2(86). 2024. S. 82-88. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-82-88. EDN FDYBPV.

**Novikov Alexander Nikolaevich**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Orel, st. Komsomolskaya, 95  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: novikovan58@bk.ru

**Zhestkova Svetlana Anatolievna**

Penza State University of Architecture and Construction  
Address: 440028, Russia, Penza, German Titov St., 28  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: obd@pguas.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***

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 \left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right) / d, \quad (1)$$

где  $\alpha = 1 + 2a/b$  - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$  - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

**Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате \*.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

#### ***Рисунок 1 - Текст подписи***

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

**Таблицы** должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

*Адрес издателя:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95  
Тел.: (4862) 75-13-18  
www.oreluniver.ru.  
E-mail: info@oreluniver.ru

*Адрес редакции:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77  
Тел.+7 905 856 6556  
www.oreluniver.ru.  
E-mail: srmostu@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании  
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,  
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 27.11.2024 г.  
Дата выхода в свет 16.12.2024 г.  
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,1  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 275

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95