

ISSN 2073-7432

МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 2-1(89) 2025

Научно-технический
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 2-1(89) 2025

Мир транспорта и технологических машин

Учредитель - федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
(ОГУ имени И.С. Тургенева)

<p>Главный редактор: Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.</p> <p>Заместители главного редактора: Васильева В.В. канд. техн. наук, доц. Родимцев С.А. д-р техн. наук, доц.</p> <p>Редакция: Агеев Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия) Басков В.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия) Власов В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия) Глаголев С.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия) Демич М. д-р техн. наук, проф. (Сербия) Денисов А.С. д-р техн. наук, проф. (Россия) Евтюков С.А. д-р техн. наук, проф. (Россия) Жаковская Л. д-р. наук, проф. (Польша) Жанказиев С.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Захаров Н.С. д-р техн. наук, проф. (Россия) Зырянов В.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Маткеримов Т.Ы. д-р техн. наук, проф. (Кыргызстан) Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва) Пржибыл П. д-р техн. наук, проф. (Чехия) Пугачев И.Н. д-р техн. наук, доц. (Россия) Пушкарев А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия) Рассоха В.И. д-р техн. наук, проф. (Россия) Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия) Ризаева Ю.Н. д-р техн. наук, доц. (Россия) Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия) Трофименко Ю.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Трофимова Л.С. д-р техн. наук, доц. (Россия) Шарата А. д-р. наук, проф. (Польша)</p> <p>Ответственный за выпуск: Акимочкина И.В.</p> <p>Адрес редколлегии: 302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77 Тел. +79058566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru</p> <p>Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.</p> <p>Подписной индекс: 16376 по объединенному каталогу «Пресса России» на сайтах www.pressa-rg.ru и www.akc.ru</p> <p>© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2025</p>	<h2>Содержание</h2> <p><i>Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте</i></p> <p>А.В. Колин, П.В. Рыбаков, А.А. Бакин, Л.Р. Айсина Метод единичных расходных ставок для оценки значений эксплуатационных расходов и себестоимости перевозок на городском пассажирском транспорте..... 3</p> <p>А.В. Куликов Перспективы развития автомобильного транспорта в мультимодальных перевозках Северного морского пути РФ..... 14</p> <p>А.Н. Якубович, Г.В. Букин, И.А. Якубович Формирование опорной сети электрозарядной инфраструктуры автотранспорта на основе методов роевого интеллекта..... 25</p> <p><i>Управление процессами перевозок</i></p> <p>В.П. Белокуров, Е.А. Панявина, Р.А. Кораблев, Э.Н. Бусарин Влияние мероприятий по совершенствованию организации городских пассажирских перевозок на экономическую эффективность..... 35</p> <p>Д.Н. Павлов, А.Н. Семкин Использование моделей машинного обучения при оценке качества составления графиков движения транспортных средств в телематических системах мониторинга и управления общественным транспортом..... 45</p> <p>Лю Юйэй, Д.В. Капский, С.А. Ляпин, Д.С. Саражинский Повышение безопасности движения маршрутного пассажирского транспорта с использованием адаптивного управления светофорными объектами..... 52</p> <p>В.Н. Богумил, В.М. Власов, Ю.В. Гусейналиев, А.А. Неретин Повышение безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах на основе использования современных методов контроля качества работ по их содержанию ... 60</p> <p>С.В. Еремин Проблемы и перспективы развития транспортной мобильности населения..... 68</p> <p><i>Эксплуатация автомобильного транспорта</i></p> <p>Е.Н. Грядунова, А.В. Горин, И.В. Родичева, О.А. Акимочкина Виды моделей, используемые при изучении динамики движения транспортного средства в учебном процессе..... 78</p> <p>Ю.В. Трофименко, Р.В. Филиппова, И.А. Феньков Зарубежный опыт внедрения электробусного транспорта в мегаполисах: переход на низкоуглеродные транспортные средства..... 87</p> <p><i>Интеллектуальные транспортные системы</i></p> <p>Н.А. Загородний, Н.А. Щетинин, Н.М. Лозовой, А.А. Конев Анализ технологий сбора исходных данных о характеристиках транспортных потоков для создания матриц корреспонденции..... 93</p> <p>Ц. Цзян, Л. Ван, О.Ю. Булатова Применение нейросетей при организации работы городского пассажирского транспорта..... 101</p> <p>И.А. Чебыкин, А.Н. Новиков, В.Э. Клявин, А.С. Сысоев Совершенствование адаптивного регулирования транспортных потоков на светофорном объекте.. 108</p> <p>Л.О. Савин, В.Д. Антонов, В.А. Акимочкин, И.С. Тюрин Развитие интеллектуальной пассажирской мобильности в городских перевозках..... 115</p> <p><i>Логистические транспортные системы</i></p> <p>Р.Г. Король Инфраструктурно-технологическое развитие сухопутных транграничных переходов..... 121</p> <p>В.Н. Трегубов Использование генеративного искусственного интеллекта для визуализации синхронизации в логистических процессах..... 129</p> <p>А.В. Терентьев, Р.О. Судоргин Модель определения весовых коэффициентов при оценке эффективности транспортного логистического производства, основанная на декомпозиции информационного пространства..... 137</p>
---	---

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

World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 2-1(89) 2025

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

<p><i>Editor-in-Chief</i> A.N. Novikov Doc.Eng., Prof</p> <p><i>Associates Editor</i> V.V. Vasileva Can. Eng. S.A. Rodimzev Doc. Eng.</p>	<h2>Contents</h2> <p><i>Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport</i></p>
<p><i>Editorial Board:</i> E.V. Ageev Doc. Eng., Prof. (Russia) I.E. Agureev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.N. Baskov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.M. Vlasov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.N. Glagolev Doc. Eng., Prof. (Russia) M. Demic Doc. Eng., Prof. (Serbia) A.S. Denisov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.A. Evtyukov Doc. Eng., Prof. (Russia) L. Żakowska Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland) S.V. Zhankaziev Doc. Eng., Prof. (Russia) N.S. Zaharov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.V. Zyryanov Doc. Eng., Prof. (Russia) T.Y. Matkerimov Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan) O. Prentkovskis Doc. Eng., Prof. (Lithuania) P. Pribyl Doc. Eng., Prof. (Czech Republic) I.N. Pugachev Doc. Eng. (Russia) A.E. Pushkarev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.I. Rassoha Doc. Eng., Prof. (Russia) A.N. Rementsov Doc. Edc., Prof. (Russia) Yu.N. Rizaeva Doc. Eng. (Russia) V.I. Sarbaev Doc. Eng., Prof. (Russia) Yu.V. Trofimenko Doc. Eng., Prof. (Russia) L.S. Trofimova Doc. Eng. (Russia) A. Szarata Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</p>	<p>A.V. Kolin, P.V. Rybakov, A.A. Bakin, L.R. Aysina The method of unit expense rates to estimate the values of operating costs and the cost of transportation on urban transit. 3 A.V. Kulikov Prospects for automobile development transport in multimodal transportation northern sea route of the RF 14 A.N. Yakubovich, G.V. Bukin, I.A. Yakubovich Formation of a reference network of electric charging infrastructure for vehicles based on swarm intelligence methods 25</p> <p><i>Management of transportation processes</i></p> <p>V.P. Belokurov, E.A. Panyavina, R.A. Korablyov, E.N. Busarin Impact of measures to improve the organization of urban passenger transportation on economic efficiency.. 35 D.N. Pavlov, A.N. Semkin An assessment of time-schedules with ml models in public transport fleet management systems 45 Liu Yuwei, D.V. Kapski, S.A. Lyapin, D.S. Sarazhinsky Improving the safety of route passenger transport using adaptive control of traffic lights 52 V.N. Bogumil, V.M. Vlasov, Yu.V. Guseinaliev, A.A. Neretin Improving road safety on motor roads based on the use of modern methods of quality control of their maintenance works 60 S.V. Eremin Problems and development prospects of transport mobility of the population 68</p> <p><i>Operation of motor transport</i></p> <p>E.N. Gryadunova, A.V. Gorin, I.V. Rodicheva, O.A. Akimochkina Types of models used in studying the dynamics of vehicle movement in the educational process 78 Y.V. Trofimenko, R.V. Filippova, I.A. Fenkov Foreign experience in the implementation of electric bus transport in megacities: switching to low-carbon vehicles 87</p>
<p><i>Person in charge for publication:</i> I.V. Akimochkina</p>	<p><i>Intelligent transport systems</i></p> <p>N.A. Zagorodniy, N.A. Shchetinin, N.M. Lozovoy, A.A. Konev Analysis of raw data collection technologies on the characteristics of traffic flows for the creation of correspondence matrices 93 J. Jiang, I. Wang, O.Yu. Bulatova Neural networks usage in the urban passenger transport organization 101 I.A. Chebykin, A.N. Novikov, V.E. Klyavin, A.S. Sysoev Improvement of adaptive control of traffic flows at a traffic light object 108 L.O. Savin, V.D. Antonov, V.A. Akimochkin, I.S. Tyurin Development of intelligent passenger mobility in urban transportation 115</p>
<p><i>Editorial Board Address:</i> 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru</p>	<p><i>Logistic transport systems</i></p> <p>R.G. Korol Infrastructural and technological development of land-based cross-border crossings 121 V.N. Tregubov Use of generative artificial intelligence for visualisation of synchronisation in logistic processes 129 A.V. Terentyev, R.O. Sudorgin Model for determining weighting coefficients in assessing the efficiency of transport logistics production based on the decomposition of information space 137</p>
<p>The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФС77-67027 of August 30 2016</p> <p>Subscription index: 16376 in a union catalog «The Press of Russia» on sites www.pressa-rf.ru and www.akc.ru</p> <p>© Registration. Orel State University, 2025</p>	

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

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

Научная статья

УДК 338.47

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-3-13

А.В. КОЛИН, П.В. РЫБАКОВ, А.А. БАКИН, Л.Р. АЙСИНА

МЕТОД ЕДИНИЧНЫХ РАСХОДНЫХ СТАВОК ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАЧЕНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ И СЕБЕСТОИМОСТИ ПЕРЕВОЗОК НА ГОРОДСКОМ ПАССАЖИРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация В статье рассмотрены способы оценки эксплуатационных расходов и себестоимости перевозок на городском пассажирском транспорте, сформулирована методика единичных расходных ставок. В частности, сформирован перечень единичных расходных ставок, которые сгруппированы по трём признакам: по эксплуатационному измерителю, по экономическому назначению и по функционалу. Рассмотрены общие подходы к расчёту единичных расходных ставок, указано, что в них учитывается.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, экономика транспорта, расходы на транспорте, себестоимость перевозок

Введение

Развитие и приоритезация общественного городского транспорта является важнейшим фактором, оказывающим влияние на качество городской среды [1].

Научные исследования показывают, что с увеличением числа поездок на общественном транспорте снижается величина расходов на все поездки в городском бюджете [2].

В то же время актуальным является вопрос выбора соотношения использования различных видов транспорта (трамвай, троллейбус, автобус), классов вместимости подвижного состава (очень большой, большой, средний). Транспортные предприятия могут вести свою хозяйственную деятельность неодинаково [3, 4]. Для возможности быстрой оценки показателей эффективности ведения хозяйственной деятельности и выбора оптимальных вариантов использования ресурсов необходимо использовать методику, позволяющую при помощи малотрудоёмких итераций проводить необходимые расчёты.

Материал и методы

На себестоимость перевозок влияет значительное количество эксплуатационных факторов, среди которых: скорость сообщения транспортных единиц, производительность единицы подвижного состава, режимы эксплуатации транспортных средств [5, 6], фондоотдача инфраструктуры, производительность труда и многое другое [7-10]. Данное утверждение справедливо для всех видов перевозок на любом виде транспорта [11, 12].

Предложения по приведению к единообразию принципов определения эксплуатационных расходов представлены в работах [13, 14].

Действующая методика оценки себестоимости перевозок, изложенная в Приказе № 351 Минтранса [15], не может быть использована в полной мере для получения достоверных результатов при функционировании нескольких видов транспорта, поскольку указанные в ней параметры условно-зависимых расходов заранее фиксированы, а процесс формирования условно-постоянных расходов не детализирован.

Аредовой А.А. отмечается необходимость внесения дополнений в действующую Методику [15] для упрощения ее использования, а также более точного определения финансовых показателей деятельности перевозчика [13]. Предложения использования метода удель-

ных весовых затрат, рассмотренное в диссертационном исследовании Аредовой А.А., не рассматриваются в контексте применения на городском электрическом транспорте.

Настоящая статья рассматривает более обширную возможность применения способа оценки эксплуатационных расходов и себестоимости перевозок на городском пассажирском транспорте.

Для определения величины эксплуатационных затрат на каждом из видов городского общественного транспорта авторами статьи предлагается использовать метод единичных расходных ставок, как наиболее доступный для восприятия метод в транспортной экономике, а также получивший широкое распространение в экономике железнодорожного транспорта [16, 17].

В настоящей статье приводится сокращение термина «транспортная единица» (далее – ТЕ). Под термином ТЕ понимается одно или несколько сцепленных (в поезд) между собой транспортных средств, одновременно совершающих рейс, нулевой рейс или отстой в ожидании выполнения рейса. Частным случаем транспортной единицы является трамвайный поезд, состоящий из нескольких сцепленных между собой трамвайных вагонов.

Теория

Авторами предлагается выделение двух крупных категорий эксплуатационных расходов: условно-постоянные и условно-зависящие.

При этом для определения характера возникновения расходов, категории предлагается так же разделить на следующие условные группы:

- «А» — расходы, линейно зависящие от продолжительности работы транспортных единиц (ТЕ-ч);
- «В» — расходы, линейно зависящие от пробега транспортных единиц (ТЕ-км);
- «D» — расходы, линейно зависящие от инвентарного количества транспортных единиц (инв. кол-во ТЕ);
- «С» — условно-постоянные расходы, дискретно зависящие от протяжённости объектов линейной инфраструктуры;
- «F» — условно-постоянные расходы, отвечающие за нелинейную инфраструктуру и дискретно зависящие от количества единиц инвентарного парка приведенных транспортных единиц.

Для каждой группы расходов разработан перечень ставок, представленный в таблице 1. Этот перечень сформирован так, чтобы эксплуатационные расходы транспортного предприятия можно было структурировать как по группам, соответствующим натуральным показателям, так и по элементам затрат по экономическому назначению.

При необходимости в структуре расходов по элементам затрат можно выделить и «ремонтный фонд», сложив между собой издержки, расходные ставки которых отвечают соответственно за фонд оплаты труда (далее – ФОТ) и социальные отчисления работников, осуществляющих ремонтные работы, за расход энергоносителей при выполнении ремонтных работ, за материалы, расходуемые при ремонте, и за амортизацию машин и оборудования, используемого при ремонте. Также ставки сгруппированы по функциональному назначению транспортного предприятия: общее управление предприятием, перевозочная деятельность, обслуживание подвижного состава, хозяйство пути, хозяйство тягового электроснабжения и общехозяйственная деятельность.

К перевозочной деятельности относится непосредственная транспортная работа в виде перемещения транспортных средств с пассажирами и выполнение «нулевых» рейсов. С ней связана работа водителей и кондукторов, расход энергии на перемещение и отопление (кондиционирование) салонов транспортных средств, а также экологические штрафы за выбросы в окружающую среду.

К общехозяйственной деятельности относится деятельность, связанная с содержанием производственных и административно-бытовых помещений, снабжением их водой, теплом,

электроэнергией, обеспечением связи и т.п.

Таким образом, у каждой расходной ставки есть три признака:

- эксплуатационный показатель;
- элемент затрат по экономическому назначению;
- функционал транспортного предприятия.

Суммарные эксплуатационные расходы всего транспортного предприятия определяются по формуле (1):

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = \sum_{k=1}^z A_{\text{общ } k} T_k + \sum_{k=1}^z B_{\text{общ } k} L_k + \sum_{k=1}^z D_{\text{общ } k} N_k + C_{\text{общ}} + F_{\text{общ}}, \text{ руб./ед.вр.}, \quad (1)$$

где под ед.вр. понимается единица времени – сутки, месяц, квартал или год;

$A_{\text{общ } k}$, $B_{\text{общ } k}$, $D_{\text{общ } k}$ – общие (суммарные) расходные ставки соответственно по группам расходов «А», «В» и «D», руб./ТЕ-ч, руб./ТЕ-км, руб./инв. ТЕ в сутки для k -го типа транспортной единицы;

T_k – общий объём работы в ТЕ-часах для k -го типа транспортной единицы в сутки (включая нулевые рейсы);

L_k – общий пробег (включая нулевые рейсы) для k -го типа транспортной единицы в сутки, ТЕ-км;

Примечание авторов: Нулевой рейс – рейс, совершаемый транспортной единицей, при следовании из парка (депо) на свой маршрут (или обратно).

N_k – инвентарное количество транспортных единиц k -го типа, ТЕ;

$C_{\text{общ}}$ – условно-постоянные расходы (равные расходной ставке) на содержание линейной инфраструктуры, руб.;

$F_{\text{общ}}$ – условно-постоянные расходы на содержание нелинейной инфраструктуры, руб.;

z – количество типов транспортных единиц.

Типы транспортных единиц различаются по вместимости (очень большой класс, большой класс, средний класс, малый класс и средний класс) и по техническому исполнению (трамвай, троллейбус, троллейбус с увеличенным автономным ходом, автобус, электробус с ультрабыстрой подзарядкой, электробус с ночной (медленной) подзарядкой).

В каждой группе «А», «В», «D», «С» общая расходная ставка равна сумме всех расходных ставок, входящих в эту группу, например:

$$A_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^{n=4} A_i, \text{ руб./изм. (руб./ТЕ-ч)} \quad (2)$$

где A_i – i -ая расходная ставка в группе «А», руб./изм. (руб./ТЕ-ч);

n – количество расходных ставок в группе «А».

Значения расходных ставок группы «С» присваиваются в зависимости от протяжённости линейной инфраструктуры в км соответствующего вида (трамвайная линия, троллейбусная линия, выделенное дорожное полотно). То есть ставка « $C_{\text{общ}}$ » изменяется дискретно в зависимости от совокупной протяжённости линий с шагом в 1 км. Для удобства подсчётов величина ставок группы «С» представляется сразу для линий в двухпутном исчислении. Причём для трамвайных линий по умолчанию в ставке « $C_{\text{общ}}$ » учитываются одновременно расходы, отвечающие за путь и за систему тягового электроснабжения, для троллейбусной линии – только за систему тягового электроснабжения.

Содержание и ремонт дорожного полотна безрельсовых видов транспорта обычно не осуществляется предприятиями городского пассажирского транспорта и, соответственно, в себестоимость перевозок, осуществляемых троллейбусами, автобусами и электробусами, не включается.

Однако при необходимости в целях аналитического сопоставления полной себестоимости на различных видах транспорта в ставках В. 6, В. 7, С. 1, С. 2, С. 3 расходы, связанные с содержанием и ремонтом дорожного полотна и амортизацией дорожных машин, могут быть учтены.

В целом расходные ставки группы «С» обобщённо определяются по следующей формуле (3):

$$C_i = P_i \left[\frac{k_{\text{попр } i} L_{\text{ли}}}{q_i}; 0 \right], \text{ руб./сут.}, \quad (3)$$

где P_i – стоимость содержания (эксплуатации) одной единицы i -го вида ресурса, руб./сут.;

$k_{\text{попр } i}$ – поправочный коэффициент, учитывающий развитие конечных станций (или конечных станций и парков (депо) по i -му виду ресурса;

$L_{\text{ли}}$ – протяжённость трамвайных или троллейбусных линий или выделенных дорожных полос в двухпутном исчислении (линейной инфраструктуры), км.

Примечание авторов: линейная инфраструктура – сооружения и устройства, используемые при перемещении транспортных единиц для перевозки пассажиров и при следовании нулевыми рейсами, а также для межрейсового отстоя и обслуживания на конечных станциях (отстойно-разворотные площадки, трамвайные пути, стрелочные переводы, контактная сеть, тяговые подстанции трамвая и троллейбуса).

q_i – норматив производительности i -го ресурса (сколько километров трамвайной или троллейбусной линии обслуживается одной единицей ресурса), км/ед.

Под ресурсами понимаются работники определённых профессий (инженер-путеец, мастер пути и т.п.) или машины определённого назначения (рельсовый транспортёр, автомобиль-самосвал и т.п.).

Таблица 1 – Группы единичных расходных ставок для городского пассажирского транспорта по признакам «эксплуатационный измеритель» и «экономическое назначение»

Группы расходов по признакам «жесткая/гибкая единица измерения» и «экономическое назначение»						
Группы расходных ставок	Единица измерения расходной ставки	Группа расходов по элементам затрат (по экономическому назначению)				
		ФОТ и со- циальные отчисления	Энергоносители	Материалы	Амортизация	Прочие
Условно-переменные						
A	руб./ТЕ-ч	A.1, A.2	A.3			A.4
B	руб./ТЕ-км	B.1, B.6, B.8	B.3, B.5	B.2, B.4, B.7, B.9		B.10
D	руб./ТЕ в сутки				D.1	D.2
Условно-постоянные						
C	руб. на всю фиксированную протяжённость линейной инфра- структуры в сутки	C.1, C.4		C.2, C.5	C.3, C.6, C.7	
F	руб. на всю фиксированную расчётную ёмкость инвентарного парка (в приведенных транспортных средствах) в сутки	F.1, F.2, F.3, F.4, F.6	F.10, F.12	F.5, F.7, F.8	F.9, F.9э	F.11, F.13, F.14, F.15

Представленные в таблице 1 расходные ставки могут быть сгруппированы по признакам, указанным в строках и столбцах таблицы, а также по признаку «функционал». Формирование отдельных групп по признаку «функционал» подразумевает следующие обозначения.

Расходные ставки функциональной группы «**общее управление предприятием**»:

F.1 – на ФОТ и социальные отчисления на руководство и инженерно-технический персонал, осуществляющий общее управление транспортным предприятием (включая служ-

бу движения);

F.8 – на материалы, используемые для общехозяйственной деятельности (обслуживание зданий и помещений) на транспортном предприятии и в парке или депо, включая помещения на конечных станциях.

Расходные ставки функциональной группы **«перевозочная деятельность»**:

A.1 – на ФОТ и социальные отчисления на линейных водителей (водители специальных машин не включаются);

A.2 – на ФОТ и социальные отчисления кондукторов;

A.3 – на электроэнергию или топливо, расходуемые на кондиционирование и отопление салонов и кабин транспортных единиц;

A.4 – на экологический штраф, обусловленный расходом топлива на кондиционирование и отопление салонов и кабин транспортных единиц;

B.5 – на электроэнергию или топливо, расходуемые на перемещение линейного подвижного состава (только для автобусов);

B.10 – на экологический штраф, обусловленный расходом топлива на совершение механической работы по перемещению линейного подвижного состава (только для автобусов).

Расходные ставки функциональной группы **«обслуживание подвижного состава»**:

B.1 – на ФОТ и социальные отчисления на рабочих и инженерно-технический персонал, занятый в техническом обслуживании и ремонте линейного подвижного состава;

B.2 – на материалы, используемые при техническом обслуживании и ремонте линейного подвижного состава;

Примечание авторов: линейный подвижной состав – подвижной состав, используемый непосредственно для перевозки пассажиров

B.3 – на электроэнергию, расходуемую при техническом обслуживании и ремонте линейного подвижного состава (работа станков и др. оборудования);

B.4 – на износ шин линейного подвижного состава (только для безрельсовых видов транспорта);

D.1 – на амортизацию и модернизацию в течение срока службы линейного подвижного состава;

D.2 – на транспортный налог, начисляемый на владельца линейного подвижного состава (учитывается для транспортных средств, имеющих государственные номера – автобусов и электробусов);

F.2 – на ФОТ и социальные отчисления на руководство и инженерно-технический персонал, осуществляющий общее управление парком или депо.

Расходные ставки функциональной группы **«хозяйство пути»** (дорожное хозяйство):

B.6 – на ФОТ и социальные отчисления на работников, осуществляющих ремонт трамвайного пути или выделенных дорожных полос (только условно-переменная составляющая);

B.7 – на материалы, используемые при ремонте трамвайного пути или выделенных дорожных полос (только условно-переменная составляющая);

C.1 – на ФОТ и социальные отчисления на работников, осуществляющих текущее содержание трамвайного пути или выделенных дорожных полос (только условно-постоянная составляющая);

C.2 – на материалы, используемые при текущем содержании трамвайного пути или выделенных дорожных полос (только условно-постоянная составляющая);

C.3 – на амортизацию машин и оборудования, используемого при текущем содержании и ремонте трамвайного пути или выделенных дорожных полос;

F.4 – на ФОТ и социальные отчисления на работников, осуществляющих текущее содержание трамвайного пути и /или дорожного полотна на территории парка или депо;

F.5 – на материалы, используемые при текущем содержании и ремонте трамвайного пути и /или дорожного полотна на территории парка или депо.

Расходные ставки функциональной группы **«хозяйство тягового электроснабжения»**:

В.8 – на ФОТ и социальные отчисления на работников, осуществляющих ремонт системы тягового электроснабжения трамваев и троллейбусов (только условно-переменная составляющая);

В.9 – на материалы, используемые при ремонте системы тягового электроснабжения трамваев и троллейбусов (только условно-переменная составляющая);

С.4 – на ФОТ и социальные отчисления на работников, осуществляющих текущее содержание системы тягового электроснабжения трамвая и троллейбуса (только условно-постоянная составляющая);

С.5 – на материалы, используемые при текущем содержании системы тягового электроснабжения трамвая и троллейбуса (только условно-постоянная составляющая);

С.6 – на амортизацию тяговых подстанций трамвая и троллейбуса;

С.7 – на амортизацию машин и оборудования, используемого при текущем содержании и ремонте системы тягового электроснабжения трамвая и троллейбуса;

Ф.6 – на ФОТ и социальные отчисления на работников, осуществляющих текущее содержание и ремонт объектов нелинейной тяговой энергетической инфраструктуры (для трамвая и троллейбуса контактной и кабельной сети на территории парка или депо, для электробуса – зарядных станций, тяговых подстанций и кабельных сетей, расположенных на территории парка и на конечных станциях);

*Примечание авторов: **нелинейная инфраструктура** – сооружения и устройства, используемые для длительного (ночного) отстоя, технического обслуживания, ремонта и экипажировки подвижного состава. К нелинейной инфраструктуре относятся парки и депо, предприятия по обслуживанию пути и энергетической инфраструктуры, а также административно-бытовые здания на конечных станциях, зарядные станции и тяговые подстанции для электробусов.*

Ф.7 – на материалы, используемые при текущем содержании и ремонте объектов нелинейной тяговой энергетической инфраструктуры (для трамвая и троллейбуса контактной и кабельной сети на территории парка или депо, для электробуса – зарядных станций, тяговых подстанций и кабельных сетей, расположенных на территории парка и на конечных станциях);

Ф.9э – на амортизацию нелинейной энергетической инфраструктуры для электробусов.

Расходные ставки функциональной группы **«общехозяйственная деятельность»**:

Ф.3 – на ФОТ и социальные отчисления на рабочих и инженерно-технический персонал, осуществляющий общехозяйственную деятельность (содержание зданий, помещений и т.п.);

Ф.9 – на амортизацию зданий и нелинейных сооружений, паркового или деповского оборудования и инвентаря;

Ф.10 – на тепловую энергию, используемую для отопления производственных и административно-бытовых зданий и помещений, включая помещения на конечных станциях;

Ф.11 – на горячее и холодное водоснабжение и канализацию в производственных и административно-бытовых помещениях, включая помещения на конечных станциях;

Ф.12 – на электроэнергию, используемую на освещение и работу бытовых приборов (не включая станки и тяжелое оборудование) в производственных и административно-бытовых помещениях, включая помещения на конечных станциях;

Ф.13 – на связь в административно-бытовых и производственных помещениях;

Ф.14 – расходная ставка, отвечающая за налоги на землю и имущество;

Ф.15 – расходная ставка, отвечающая за остальные прочие расходы, не учтенные в других расходных ставках (расходы на командировки, участие в выставках, рекламу, содер-

жание социально-культурных объектов и т.п.).

В расходных ставках $C.1$, $C.2$, $C.4$, $C.5$ учитывается обслуживание путевого развития и контактной сети на конечных станциях благодаря использованию поправочного коэффициента в размере 1,05.

В расходных ставках $C.3$ и $C.7$ полигон обслуживания путевыми машинами и машинами по обслуживанию контактной сети определяется с учётом обслуживания путевого развития одновременно конечных станций и парков (депо) благодаря применению поправочного коэффициента в размере 1,1.

Расходная ставка $F_{\text{общ}}$ определяется по следующей формуле:

$$F_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^{i=n} F_{\text{апп упр } i} + \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} F_{\text{парк } ij}, \text{ руб./сут.}, \quad (4)$$

где $F_{\text{апп упр } i}$ – i -ая расходная ставка группы «F» для аппарата управления транспортного предприятия, руб./сут.;

$F_{\text{парк } ij}$ – i -ая расходная ставка группы «F» для j -го парка или депо с фиксированной вместимостью по количеству приведенных транспортных средств определённого типа, руб./сут.;

n – количество расходных ставок в группе «F»;

j – количество парков или депо в рассматриваемом транспортном предприятии.

Под расходами аппарата управления группы «F» понимаются расходы, связанные с содержанием персонала аппарата управления и помещений, в котором он размещается (административно-бытовые здания) перевозчика, эксплуатирующего транспортные средства на городских маршрутах наземного транспорта

Помещения с аппаратом управления на таких предприятиях могут располагаться как на самостоятельных площадках, вне линейных предприятий – парков, так и на территории депо (парков). Предприятия по обслуживанию пути и контактной сети, напротив, обычно располагают на территории, расположенной рядом с парками (депо). В методике принято допущение, согласно которому численность персонала аппарата управления транспортного предприятия дискретно зависит от размера инвентарного парка подвижного состава. Подвижной состав является ликвидным (движимым) имуществом, которое нецелесообразно оставлять на предприятии, если оно не используется.

Площади производственных и административно-бытовых помещений парков или депо, а также численность руководства и инженерно-технического персонала в парках и депо в настоящей методике определяется в зависимости от потребной вместимости парка или депо. В свою очередь потребная вместимость парка или депо определяется потребным количеством приведенных единиц подвижного состава, округлённым в большую сторону до значения, соответствующего проектной вместимости парка или депо с учётом пошаговости.

Под приведенным транспортным средством понимается транспортное средство большого класса вместимости. Поскольку транспортные единицы разных классов вместимости отличаются по длине и, соответственно, по занимаемой площади на территории парка или депо, оценку общей потребной вместимости парка или депо (по количеству мест отстоя) следует производить по формуле:

$$N_{\text{потр}} = [k_{\text{зап}} \sum_{k=1}^S N_k \frac{l_k}{l_{\text{БК}}}; 0], \text{ прив. трансп. ср. (ТЕ)} \quad (5)$$

где $k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса линейных транспортных средств с учётом нахождения части из них в ремонте и/или отвлечения от регулярных городских пассажирских перевозок ($k_{\text{зап}}$ принимается равным от 1,15 до 1,20);

N_k – потребное для перевозок количество транспортных единиц k -го класса вместимости, ед.;

l_k – длина одной транспортной единицы k -го класса вместимости, м;

$l_{\text{БК}}$ – длина транспортной единицы большого класса вместимости, м;

S – количество классов транспортных единиц по вместимости.

Потребные размеры площадей для административно-бытовых и производственных помещений следует определять по формуле:

$$S_{\text{потр } z} = k_{\text{попр } z} x_z N_{\text{потр}}, \text{ м}^2 \quad (6)$$

где $k_{\text{попр } z}$ – поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные потребности помещения z -той категории помещений;

x_z – норматив площади для z -той категории помещений, приходящейся на одно приведенное транспортное средство, $\text{м}^2/\text{ед.}$;

z – количество категорий помещений (административно-бытовые помещения аппарата управления транспортным предприятием, административно-бытовые помещения парков (депо), производственные здания парков (депо)).

Помещения конечных станций учитываются благодаря использованию поправочного коэффициента при расчёте потребной площади административно-бытовых помещений парков и депо. Если на конечных станциях работает диспетчерский персонал (во многих хозяйствах диспетчеризация полностью централизована), то он должен быть дополнительно учтён путём использования поправочного коэффициента при определении потребной численности сотрудников аппарата управления.

В отличие от энергетической инфраструктуры трамвая и троллейбуса, которая распределена по линии, энергетическая инфраструктура электробусов (зарядные станции и тяговые подстанции) сосредоточена на территории парков (депо) и/или на конечных станциях. Поэтому в контексте представленной методики рекомендуется относить энергетическую инфраструктуру электробусов к нелинейной с расходной ставкой $C_{\text{общ}}$ равной 0, за исключением случаев, когда требуется учесть содержание дорожного полотна. Расходы на содержание персонала, обслуживающего энергетическую инфраструктуру электробусов, учитываются в ставке F.6, расходы на материалы, используемые для обслуживания инфраструктуры электробусов в ставке F.7, расходы на амортизацию зарядных станций электробусов и тяговых подстанций, питающих зарядные станции, – в ставке F.9э. Амортизация автозаправочных станций для автобусов также учитывается в ставке F.9. Принципы учёта этих расходов такие же, как и для производственных зданий.

В случаях, когда тяговые подстанции одновременно питают трамвайную и троллейбусную линию (троллейбусную линию и станцию зарядки электробусов) при оценке расходов на их амортизацию для соответствующего вида транспорта (трамвая или троллейбуса, троллейбуса или электробуса) необходимо принимать к учёту только часть стоимости тяговой подстанции, пропорционально энергопотреблению соответствующим видом транспорта в пределах энергетического района.

Результаты и обсуждение

Предлагаемые методические рекомендации позволяют комплексно оценить эксплуатационные затраты на любом из видов городского пассажирского транспорта, а также руководствоваться едиными рекомендациями для муниципалитетов, обслуживаемых несколькими видами транспорта.

Выводы

Для оценки себестоимости транспортной работы и отдельных её составляющих и для сравнения различных вариантов организации перевозок целесообразно использовать метод единичных расходных ставок, успешно используемый, начиная с 1920-ых годов, на железнодорожном транспорте.

В предлагаемой методике расходы разделены на пять основных групп А, В, D, С и F, из которых первые три группы отвечают за условно-зависящие расходы, а две последние – за условно-постоянные. Всего предложено 35 единичных расходных ставок. У каждой расходной ставки есть три признака: принадлежность к группе по эксплуатационному измерителю (ТЕ-ч, ТЕ-км, инвентарный парк ТЕ, протяжённость линейной инфраструктуры в км, ёмкость нелинейной инфраструктуры в привед. ТС), принадлежность к группе по экономическому назначению (ФОТ и соц. отчисления, энергоносители, материалы, амортизация, прочие), принадлежность к группе по эксплуатационному функционалу (общее управление предприя-

тием, перевозочная деятельность, обслуживание подвижного состава, хозяйство пути, хозяйство тягового электроснабжения, общехозяйственная деятельность).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А.Н., Еремин С.В. Планирование развития транспортной системы региона на основе системы поддержки управленческой деятельности // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №4(71). С. 111-117. DOI 10.33979/2073-7432-2020-71-4-111-117.
2. Горев А.Э. К вопросу об экономической эффективности городского пассажирского транспорта // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2012. №3-4(40-41). С. 34-36.
3. Горенкова С.Е., Ставцева А.А., Милина М.Ю. [и др.] Оценка эффективности транспортного обслуживания населения на основе информационных технологий // Молодежь и наука: шаг к успеху: Сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. Т. 3. Курск: ЗАО «Университетская книга». 2019. С. 150-153.
4. Бодров А.С., Ломакин Д.О., Васильева В.В., Колпакова С.В. Повышение эффективности эксплуатации безрельсового городского пассажирского транспорта за счёт организации выделенных полос // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2020. С. 354-365.
5. Родимцев С.А., Панин Е.Н. Влияние режимных параметров работы двигателя на показатель его эффективного КПД // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-3(82). С. 3-9. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-3-9.
6. Новиков А.Н., Еремин С.В., Ерошок И.Д. Оптимизация режимов движения автобусов на городском маршруте // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №1(68). С. 87-93. DOI 10.33979/2073-7432-2020-68-1-87-93.
7. Колин А.В. Троллейбус, автобус или электробус? // Транспорт Российской Федерации. 2018. №3(76). С. 38-42.
8. Шевцова А.Г., Локтионова А.Г. Оценка методов применения технических и динамических параметров автомобилей в мировой практике // Воронежский научно-технический Вестник. 2022. Т. 2. №2(40). С. 74-81. DOI 10.34220/2311-8873-2022-74-81.
9. Сулейманов Э.С., Умеров Э.Д., Менасанова С.Э. Анализ изменения затрат на обеспечение работоспособности автобусов в зависимости от качества технического обслуживания // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2023. № 1(79). С. 173-179. DOI 10.34771/UZCEPU.2023.79.1.035.
10. Глушкова Ю.О., Пахомова А.В., Асоян А.Р. Сравнение экономической эффективности эксплуатации троллейбуса и автобуса с учетом экологического фактора // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2018. Т. 15. №3(61). С. 372-389.
11. Насыбуллин А.М. Оценка влияния факторов на назначение попутных остановок контейнерным поездам, курсирующим по технологии постоянного формирования // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-1(86). С. 23-34. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-23-34.
12. Насыбуллин А.М. Развитие технологии перевозочного процесса контейнерными поездами постоянного формирования: дис. ... канд. наук, 2024. 256 с.
13. Аредова А.К. Развитие научно-методических подходов к формированию стоимости городских пассажирских перевозок: дис. ... канд. экон. наук, 2019. 204 с.
14. Лерман Е.Б. Формирование эксплуатационных затрат при выполнении муниципального заказа в системе городского общественного транспорта // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2014. №1(35). С. 141-146.
15. Об утверждении Порядка определения начальной (максимальной) цены контракта, а также цены контракта, заключаемого с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем), при осуществлении закупок в сфере регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом: Приказ Минтранса России от 20.10.2021 №351.
16. Насыбуллин А.М. Назначение попутных остановок грузовому поезду, курсирующему по технологии постоянного формирования // Экономика железных дорог. 2023. №12. С. 64-83.
17. Насыбуллин А.М., Айсина Л.Р., Домани М.Д. Перспективы использования подвижного состава на комбинированном ходу для пассажирских перевозок // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(83). С. 91-98. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-91-98.

Колин Алексей Валентинович

Российский университет транспорта (МИИТ)

Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Начальник научно-образовательного центра «Независимые комплексные транспортные исследования»

E-mail: alex5959@yandex.ru

Рыбаков Павел Валерьевич

Российский университет транспорта (МИИТ)

Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Инженер научно-образовательного центра «Независимые комплексные транспортные исследования»

E-mail: rybakov.sc@mail.ru

Бакин Алексей Алексеевич

АО «Новая перевозочная компания»

Адрес: 105066, Россия, г. Москва, ул. Нижняя Красносельская, д. 39, стр.1

К.т.н., главный специалист отдела количественных исследований и информационного обеспечения маркетинговых задач

E-mail: bakin-aleksei@yandex.ru

Айсина Лилия Ринатовна

Российский университет транспорта (МИИТ)

Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Старший преподаватель

E-mail: l.r.aysina@mail.ru

A.V. KOLIN, P.V. RYBAKOV, A.A. BAKIN, L.R. AYSINA

**THE METHOD OF UNIT EXPENSE RATES TO ESTIMATE THE VALUES
OF OPERATING COSTS AND THE COST OF TRANSPORTATION ON
URBAN TRANSIT**

Abstract: The article considers methods for estimating the operating costs and cost of transportation on urban passenger transport, and formulates a methodology for unit expense rates. A list of unit expense rates has been formed by three characteristics: affiliated with operational meter, expenses for economic purposes, expenses for functionality. General approaches to calculating unit expense rates are considered, and it is indicated what is taken into account in them.

Keywords: urban passenger transit, transit economics, transportation costs, primecost of transportation

BIBLIOGRAPHY

1. Novikov A.N., Eremin S.V. Planirovanie razvitiya transportnoy sistemy regiona na osnove sistemy podderzhki upravlencheskoy deyatel'nosti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №4(71). S. 111-117. DOI 10.33979/2073-7432-2020-71-4-111-117.
2. Gorev A.E. K voprosu ob ekonomicheskoy effektivnosti gorodskogo passazhirskogo transporta // Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike. 2012. №3-4(40-41). S. 34-36.
3. Gorenkova S.E., Stavtseva A.A., Milina M.YU. [i dr.] Otsenka effektivnosti transportnogo obsluzhivaniya naseleniya na osnove informatsionnykh tekhnologiy // Molodezh' i nauka: shag k uspekhу: Sbornik nauchnykh statey 3-y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh. T. 3. Kursk: ZAO «Universitetskaya kniga». 2019. S. 150-153.
4. Bodrov A.S., Lomakin D.O., Vasil'eva V.V., Kolpakova S.V. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii bezrel'sovogo gorodskogo passazhirskogo transporta za schiot organizatsii vydelennykh polos // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Oriol: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva. 2020. S. 354-365.
5. Rodimtsev S.A., Panin E.N. Vliyanie rezhimnykh parametrov raboty dvigatelya na pokazatel' ego effektivnogo KPD // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-3(82). S. 3-9. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-3-9.
6. Novikov A.N., Eremin S.V., Eroshok I.D. Optimizatsiya rezhimov dvizheniya avtobusov na gorodskom marshrute // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №1(68). S. 87-93. DOI 10.33979/2073-7432-2020-68-1-87-93.
7. Kolin A.V. Trolleybus, avtobus ili elektrobús? // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2018. №3(76). S. 38-42.
8. Shevtsova A.G., Loktionova A.G. Otsenka metodov primeneniya tekhnicheskikh i dinamicheskikh paramet-

rov avtomobiley v mirovoy praktike // Voronezhskiy nauchno-tehnicheskij Vestnik. 2022. T. 2. №2(40). S. 74-81. DOI 10.34220/2311-8873-2022-74-81.

9. Suleymanov E.S., Umerov E.D., Menasanova S.E. Analiz izmeneniya zatrat na obespechenie rabotosposobnosti avtobusov v zavisimosti ot kachestva tekhnicheskogo obsluzhivaniya // Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. 2023. № 1(79). S. 173-179. DOI 10.34771/UZCEPU.2023.79.1.035.

10. Glushkova YU.O., Pakhomova A.V., Asoyan A.R. Sravnenie ekonomicheskoy effektivnosti ekspluatatsii trolleybusa i avtobusa s uchetom ekologicheskogo faktora // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2018. T. 15. №3(61). S. 372-389.

11. Nasybullin A.M. Otsenka vliyaniya faktorov na naznachenie poputnykh ostanovok konteynernym poezdami, kursiruyushchim po tekhnologii postoyannogo formirovaniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-1(86). S. 23-34. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-23-34.

12. Nasybullin A.M. Razvitie tekhnologii perevoznogo protsessa konteynernymi poezdami postoyannogo formirovaniya: dis. ... kand. nauk, 2024. 256 s.

13. Aredova A.K. Razvitie nauchno-metodicheskikh podkhodov k formirovaniyu stoimosti gorodskikh passazhirkh perevozok: dis. ... kand. ekon. nauk, 2019. 204 s.

14. Lerman E.B. Formirovanie ekspluatatsionnykh zatrat pri vypolnenii munitsipal'nogo zakaza v sisteme gorodskogo obshchestvennogo transporta // Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii. 2014. №1(35). S. 141-146.

15. Ob utverzhdenii Poryadka opredeleniya nachal'noy (maksimal'noy) tseny kontrakta, a takzhe tseny kontrakta, zaklyuchaemogo s edinstvennym postavshchikom (podryadchikom, ispolnitelem), pri osushchestvlenii zakupok v sfere regul'yarnykh perevozok passazhirov i bagazha avtomobil'nym transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom: Prikaz Mintransa Rossii ot 20.10.2021 №351.

16. Nasybullin A.M. Naznachenie poputnykh ostanovok gruzovomu poezdu, kursiruyushchemu po tekhnologii postoyannogo formirovaniya // Ekonomika zheleznnykh dorog. 2023. №12. S. 64-83.

17. Nasybullin A.M., Aysina L.R., Domani M.D. Perspektivy ispol'zovaniya podvizhnogo sostava na kombinirovannom khodu dlya passazhirkh perevozok // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-1(83). S. 91-98. DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-91-98.

Kolin Alexey Valentinovich

Russian University of transport

Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9, build. 9

Chief of research and educational cent «Nezavisimye kompleksnye transportnye issledovaniya»

E-mail: alex5959@yandex.ru

Rybakov Pavel Valerievich

Russian University of transport

Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9, build. 9

Engineer of research and educational cent «Nezavisimye kompleksnye transportnye issledovaniya»

E-mail: rybakov.sc@mail.ru

Bakin Alexey Alekseevich

JSC New Forwarding Company

Address: 105066, Russia, Moscow, Nizhnyaya Krasnoselskaya Str, 39, build.1

Candidate of Technical Sciences

E-mail: bakin-aleksei@yandex.ru

Aysina Liliya Rinatovna

Russian University of transport

Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9, build. 9

Senior teacher

E-mail: l.r.aysina@mail.ru

Научная статья

УДК 656.614.3(470.1)

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-14-24

А.В. КУЛИКОВ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ РФ

Аннотация. Рассматривается растущая роль автомобильного транспорта в организации мультимодальных перевозок через порты морей Северного Ледовитого и Тихого океана, плюс охватываются порты северных рек РФ. Исследованы характеристики морских портов и портов речных бассейнов, находящихся в прямой взаимосвязи обеспечения перевалки грузов. Выявлено, что значительная часть портов имеет только взаимодействие автомобильного и морского транспорта. Автомобильный транспорт перевозит грузы с использованием автозимников. Выполняются перевозки полезных ископаемых, углеводородное сырье, грузы для осуществления их добычи и грузы необходимые для жизнеобеспечения населения северных территорий страны (грузы «Северного завоза»). Северный морской путь обеспечивает связь 27 субъектов РФ. В статье приведены важные исторические моменты создания и развития Северного морского пути. Определены перспективы роста мультимодальных перевозок с выделением особой роли автомобильному транспорту.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, грузовые перевозки, мультимодальные перевозки, Северный морской путь, морские и речные порты, речные бассейны, Северный завоз

Введение

История развития Северного морского пути (СМП) начинается с 1932 г., когда Ледокол «Александр Сибиряков» преодолел весь путь за одну навигацию. В настоящее время законодательством России СМП определён как «исторически сложившаяся национальная единая транспортная коммуникация России в Арктике» [1].

Северный морской путь даёт возможность сокращения срока доставки грузов во внутреннем грузообороте страны (большой каботаж). Через морские порты осуществляется перевалка различных грузов: полезные ископаемые; грузы необходимые для добычи полезных ископаемых; грузы, обеспечивающие программу Северного завоза РФ. Судами обеспечивается продвижения грузов по основным северным рекам, далее осуществляется перевалка в ЛТП на железнодорожный и автомобильный транспорт. Современная эффективная организация мультимодальных перевозок Крайнего Севера и Арктики должна обеспечиваться слаженным функционированием логистических терминалов портов (ЛТП) морей Северного Ледовитого и Тихого океана, плюс ЛТП северных рек с учетом растущей перспективной роли автомобильного транспорта. Через морские порты осуществляется перевалка на суда река-море и речные суда, а также непосредственно на автомобильный транспорт. Выявлено, что значительная часть портов имеет только взаимодействие автомобильного и морского транспорта. В большинстве случаев автомобильный транспорт перевозит грузы с использованием автозимников. Северный морской путь обеспечивает связь 27 субъектов РФ. Выполняются перевозки полезных ископаемых, углеводородное сырье, грузы для осуществления их добычи и грузы необходимые для жизнеобеспечения населения северных территорий страны (грузы «Северного завоза»). Северный завоз распределяется по районам Крайнего Севера и Арктическим зонам Российской Федерации, внутренний водный транспорт имеет особое значение, поскольку вследствие недостаточного развития автомобильных и железных дорог, фактически обеспечивает жизнь и деятельность населения этих районов. Для предприятий внутреннего водного транспорта ограничение в использовании судов накладывают короткие сроки навигации. Определены перспективы роста мультимодальных перевозок с выделением

главенствующей роли автомобильному транспорту являющимся единственно возможным наземным транспортом в данных регионах.

Материал и методы

В работе анализируются исторические данные развития СМП СССР и РФ. Исследуются материалы развития СМП в хронологии развития морской техники и появления устойчивых средств связи для осуществления перевозок. Анализируются аналитические данные функционирования СМП и объемов перевозок грузов «Северного завоза». Характеристика морских и речных портов получена из средств интернет ресурсов и научных трудов исследователей, опубликованные в периодических изданиях. Использовались методы графической и табличной визуализации данных. Роль автомобильного транспорта определяется совокупными характеристиками морских и речных портов в представленных таблицах.

Теория

Северный морской путь обслуживает порты Арктики и крупных рек Сибири по кратчайшему морскому пути между Европейской частью России и Дальним Востоком. Расстояние от Мурманска до Владивостока по железнодорожным путям – 9350 км, а Северным морским путем – 5671 км, короче на 3679 км [2, 3]. Время в пути по железной дороге занимает 7,5 дн., а по СМП затрачивается до 15 сут. Морской транспорт осуществляет перевозки по времени в 2 раза дольше, но по затратам на единицу перевозимой продукции выходит в несколько раз меньше [2]. Северный морской путь Законодательством России определен как «исторически сложившаяся национальная единая транспортная коммуникация России в Арктике».

Одним из важных достижений первого пятилетнего плана (1928 – 1932 гг.) направленного на быструю индустриализацию Советского Союза являлось открытие СМП, когда Ледокол «Александр Сибиряков» (рис. 1), проделал за одну навигацию весь путь.

Во вторую пятилетку (1933-1937 гг.) Ледорез «Литке» (1934 г.) прошел весь СМП за одну навигацию без аварий. Первые грузы по СМП были перевезены лесовозами «Ванцетти» и «Искра» (1935 г.). С 1937 г. стали использовать круглогодичные дрейфующие полярные станции (рис. 2), что положило начало в использовании информационных технологий СМП, и в дальнейшем преобразовалось в мощную информационную телекоммуникационную среду, обеспечивающую современные мультимодальные перевозки [3]. Третья пятилетка (1938-1941 гг.) ознаменовалась успешным двойным сквозным плаванием ледокола «И. Сталин» (1939 г.) по СМП за одну навигацию (рис. 3).



Рисунок 1 – Ледокол «Александр Сибиряков»
(<https://257824.selcdn.ru/yamalnews/4lzilq6.jpg>)



Рисунок 2 – Дрейфующая экспедиция Главсевморпути СССР 1937 г.

(https://ic.pics.livejournal.com/ad_informandum/85797928/275357/275357_original.jpg)

В кратчайшие сроки третьей пятилетки были построены арктические порты, в том числе Игарка, Диксон, Певек и Провидения. Большое внимание уделялось созданию транспортной инфраструктуры на северном побережье СССР. Все достигнутые успехи, получен-

ные за три первых пятилетки, приобрели важное стратегическое значение в годы Великой Отечественной войны.

СМП стал самым безопасным маршрутом для перевозки грузов, в том числе и поступающих от стран-союзников по ленд-лизу [4], за военные годы (1941-1945 гг.) по СМП было перевезено свыше 4 млн. т важных грузов. Новый этап в освоении СМП начался в мирное время, в годы шестой пятилетки (1956-1960 гг.) с появлением атомных ледоколов. Огромное судно – ледокол «Ленин» (рис. 4) на протяжении 30 лет (1959-1989 гг.) проводил караваны судов по арктическим морям. В годы девятой пятилетки (1971-1975 гг.) был спущен на воду второй ледокол с ядерной энергетической установкой – «Арктика» (отличительной особенностью ледокола – преодолевать толщину льдов до 2,8 м). В скором времени были запущены еще пять атомных ледоколов, которые обеспечили круглогодичную навигацию по СМП для развития таких гигантов, как Норильский комбинат [4].

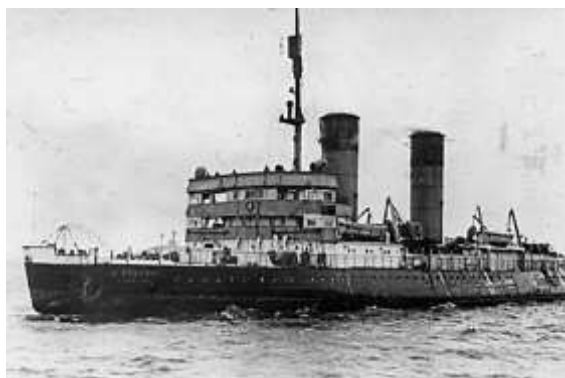


Рисунок 3 – Ледокол «И. Сталин»
(<https://fleetphoto.ru/photo/03/43/12/343129.jpg>)



Рисунок 4 – Ледокол «Ленин»
(https://webpulse.imgsmai.ru/imgpreview?key=pulse_cabinet-image-fabbed19-e18b-4c21-92c1-ae840677fd65&mb=webpulse)

СМП стал обретать реалии транспортной артерии в годы десятой пятилетки (1976-1980 гг.), когда по маршруту Мурманск-Дудинка (рис. 5) семнадцать ледоколов начали проводить караваны судов круглогодично, при этом объем перевозок достигал 6-8 млн. т в год [4-6].

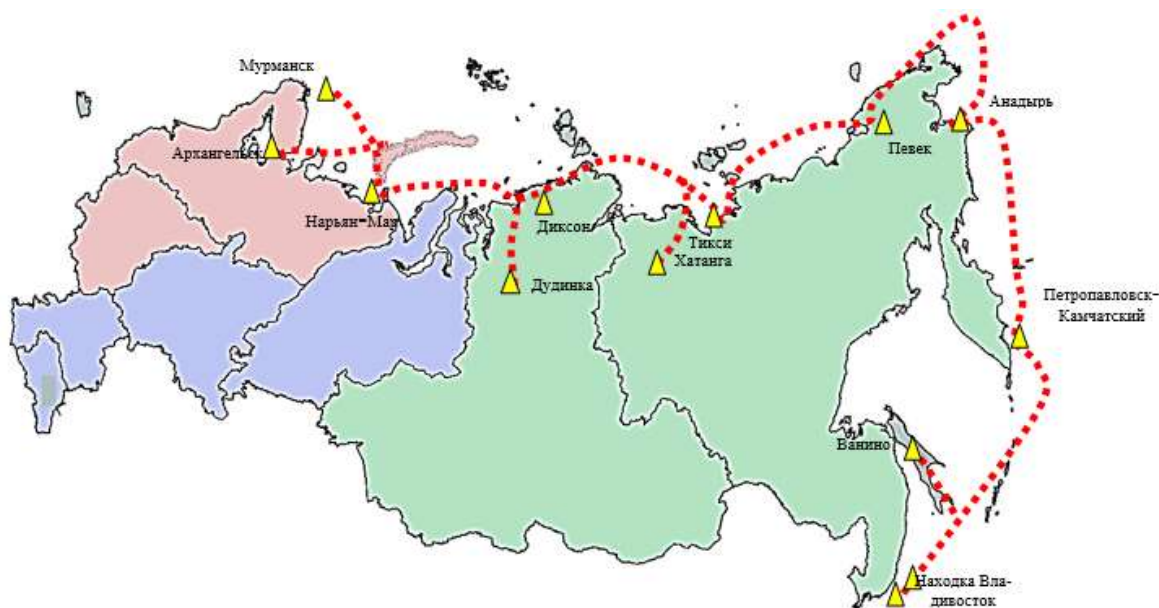


Рисунок 5 – Карта Северного морского пути (составлена автором)

Для международного судоходства СМП был открыт с 1991 г. В настоящее время в связи с глобальным потеплением происходит обильное таяние северных и арктических льдов, что открывает массовый доступ для иностранных судов (так в 2009 г. через СМП прошли всего два иностранных судна, то уже в 2011 г. – 34 ед., а в современное время несколько сотен). Тенденция к росту уже говорит о многом. Причем СМП не перегружен, как Суэцкий канал (более 18 тыс. судов в год), здесь не нужно платить за проход и главное, новый маршрут почти вдвое короче, что позволяет серьезно сэкономить энергетические, трудовые и временные ресурсы [4, 7-9].

Результаты и обсуждение

В работе получены характеристики портов СМП и морей Северного Ледовитого и Тихого океана с определением места железнодорожного и автомобильного транспорта (табл. 1) [10].

В настоящее время в морях Северного Ледовитого океана разведано 62,5 трлн. м³ газа, 9 млрд. т нефти и в береговой зоне 3,5 млрд. т, что составляет 1/4 мировых запасов углеводорода [3]. По Северному морскому пути осуществляется перевозка добываемых на Севере нефти, газа и леса, транспортируется 90 % никеля и 65 % меди. Через морские ЛПТ осуществляется перевалка различных грузов: полезные ископаемые; грузы необходимые для добычи полезных ископаемых; грузы, обеспечивающие программу Северного завоза РФ и др. Через морские ЛПТ возможны перевалка на суда река-море и речные суда. Обеспечивается продвижение грузов по основным северным рекам и осуществляется перевалка в ЛПТ на железнодорожный и автомобильный транспорт [3]. Перевозка грузов на материке осуществляется в основном железнодорожным транспортом, но большая часть морских портов не имеют железнодорожного сообщения (табл. 1), в таком случае перевозка грузов в прямом и обратном направлении осуществляется только автомобильным транспортом, при этом развиваются мультимодальные связи [11-16]. Восемь портов СМП вообще не имеют железнодорожного сообщения, мультимодальные перевозки можно осуществить при взаимодействии морского, речного и автомобильного транспорта. Автомобильный транспорт выполняет перевозки по автозимникам, работа которых зависит от климатических условий и определяется временем года [5, 6, 8]. В течение года смена сезонов приводит к активизации функционирования одного транспорта, но в то же время препятствует работе другому. Таяние льдов открывает пути морскому и речному транспорту, а ледоходы на реках останавливают работу автозимников.

Таблица 1 – Характеристика портов СМП

№, п/п	Название порта	Год ввода в эксплуатацию	Назначение		Связь с транспортом		Грузооборот, млн. т на 2021 г.
			морские	речные	ЖД	АТ на 2021 г.	
1	Мурманск	1915	да	да	да	да	54,5
2	Архангельск	1584	да	да	да	да	3,2
3	Нарьян-Мар	1951	да	да	нет	автозимники	0,146
4	Дудинка	1667	да	да	нет	автозимники	1,6
5	Диксон	1915	да	да	нет	автозимники	0,120
6	Хатанга	1954	да	да	нет	автозимники	2,63
7	Тикси	1934	да	да	нет	автозимники	0,671
8	Певек	1951	да	да	нет	автозимники	0,288
9	Анадырь	1961	да	нет	нет	автозимники	0,215
10	Петропавловск Камчатский	1943	да	нет	нет	автозимники	1,0
11	Ванино	1943	да	да	да	да	35,4
12	Владивосток	1897	да	да	да	да	29,6
13	Находка	1947	да	да	да	да	26,8
Итого			13	2(нет)/13	8(нет)/13	8(3)/13	156,17

Из тринадцати представленных портов СМП самым старшим является порт Архангельск основанный Иваном Грозным в 1584 г. и самым молодым считается порт Анадырь построенный в 1961 г. Морские порты в основном расположены в местах соединения рек с морем. В восьми морских портах СМП отсутствует железнодорожное сообщение, и вся роль отводится автомобильному транспорту [3]. Автомобильный транспорт осуществляет перевозку грузов во взаимодействии с морским транспортом во всех тринадцати портах СМП, из которых в восьми перевозка возможна только по автозимникам. Растущая роль автомобильного транспорта в мультимодальных перевозках может быть эффективной в случае обеспечения соответствующих требований функционирования автозимников [17, 18]. Общий грузооборот за 2021 г. составил более 156,17 млн. т.

В качестве примера в статье рассмотрены начальные и конечные порты СМП в которых осуществляется взаимодействие морского, речного, железнодорожного и автомобильного транспорта. Начальной точкой СМП является ЛТП Мурманск (рис. 6), порт расположен в глубоководной бухте с удобными причалами (к причалам подходят железнодорожные пути), с хорошо развитыми логистическими терминалами. Мультимодальные перевозки автомобильного транспорта слабо выражены, так как в основном массовые грузопотоки ориентированы на взаимодействие железнодорожного транспорта с морским. В этом порте мультимодальные автомобильные перевозки занимают малый объем.



Рисунок 6 – Порт Мурманск:

а - гибрид – фото со спутника (составлена автором с использованием Яндекс.Карты); б - схема порта Мурманск (<https://konspekta.net/lektisianew/baza12/3100288586007.files/image001.jpg>)

Конечной точкой Северного морского пути являются ЛТП Владивосток и Находка. Порт Находка занимает удобную бухту, которая опоясана сетью железных дорог (рис. 7). Развитие мультимодального терминала ориентировано в большую сторону для взаимодействия железнодорожного и морского транспорта. Для автомобильного транспорта отводится вспомогательная роль, его используют в тех случаях, когда нужна быстрая перевозка «от двери – до двери».

Анализируя данные таблицы 2 можно отметить, что 27 портов имеют терминалы, обеспечивающие взаимодействие морского, речного и автомобильного транспорта, в этих портах отсутствует железнодорожное сообщение. Порт Диксон имеет возможность обеспечивать взаимодействие морского, автомобильного и авиационного транспорта. В бухте на правом берегу находится сам порт Диксон со своими причалами и терминалами, а на левом берегу находится аэропорт «Диксон», возможность соединения берегов только водным транспортом, по матерiku в основном развиты автомобильные и авиационные перевозки (рис. 8).



а



б

Рисунок 7 – Порт Находка: а - гибрид – фото со спутника (составлена автором с использованием Яндекс.Карты); б - схема порта Находка (https://portsinfo.ru/images/com_droppics/308/shema-portnakhodka.jpg)

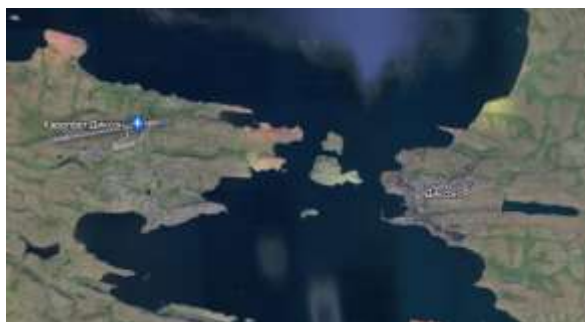








Рисунок 8 – Порт Диксон (составлена автором с использованием Яндекс.Карты)

В глубь материка от СМП грузы перевозятся по рекам, которые образуют шесть крупных речных бассейнов: Северо-Двинский (семь ЛТП); Обский (девять ЛТП); Енисейский (семь ЛТП); Ленский (девять ЛТП); Анадыро-Клымский (пять ЛТП); Амурский (семь ЛТП). С общим количеством портов 44 ед. из которых семь портов универсальных имеющие возможность обслуживать морские и речные суда (табл. 2). В этих ЛТП осуществляется взаимодействие морского, речного, железнодорожного и автомобильного транспорта с обеспечением мультимодальности перевозок [3, 5, 10-14]. На рисунке 5 речные бассейны представлены разными цветами, в зависимости от ценовых зон (принятых ранее в СССР), где действовали устойчивые тарифы на грузовые перевозки. Деление всей территории страны происходило на три ценовых пояса. Первый минимальный тариф имели территории Северо-Двинского и Печерского бассейна, второй (бассейны рек Дона, Волги, Оби и Обь-Иртышского) и третий с самым большим тарифом (Енисейский, Ленский, Анадыро-Колымский и Амурский бассейны) [19]. В Анадыро-Колымском бассейне полностью отсутствует железнодорожное сообщение. Автомобильный транспорт присутствует во всех шести бассейнах и только в Амурском бассейне используются круглогодичные дороги с твердым покрытием. В бассейнах северных рек перевозка автомобильным транспортом осуществляется в большей части по зимникам [3, 11]. Население по бассейнам северных рек имеет не большую плотность, это связано с трудными условиями проживания. Зимний период достигает восемь и более месяцев в году. Для снабжения этого населения разработаны специальные государственные программы [9, 20, 21].

Определяемый Правительством РФ федеральный координатор будет осуществлять выработку единой государственной политики в сфере осуществления северного завоза (комплекса организационных, транспортно-логистических мероприятий по регулярному, бесперебойному снабжению территорий Крайнего Севера и приравненным к ним местностям, с ограниченными сроками завоза грузов), координацию и мониторинг его осуществления.

Появляется возможность организации эффективных мультимодальных перевозок грузов. Роль автомобильного транспорта с определением режимов его работы отводится на специалистов в области транспортной логистики.

Таблица 2 – Бассейны рек, входящие в СМП

Наименование и изображение бассейна	Наименование порта (вид)	Мультимодальность	
		железнодорожный транспорт	автомобильный транспорт
	Мурманск (морской)	да	да
	Архангельск (морской + речной)	да	да
	Онега (морской)	нет	да (автозимники)
	Витино (морской)	нет	да (автозимники)
	Мезень (морской)	нет	да (автозимники)
	Варандей (морской)	нет	да (автозимники)
	Нарьян-Мар (речной)	нет	да (автозимники)
	Берёзово (речной)	нет	да (автозимники)
	Новосибирск (речной)	да	да
	Сургут (речной)	да	да (автозимники)
	Нижневаторск (речной)	да	да (автозимники)
	Томск (речной)	да	да (автозимники)
	Бийский (речной)	нет	да (автозимники)
	Барнаульский (речной)	нет	да (автозимники)
	Салехард (речной)	да	да (автозимники)
	Ханты-Мансийск (речной)	нет	да (автозимники)
	Диксон (морской + речной)	нет	да (автозимники)
	Дудинка (морской + речной)	нет	да (автозимники)
	Хатанга (речной)	нет	да (автозимники)
	Красноярск (речной)	да	да
	Абакан (речной)	да	да
	Стрелка (речной)	нет	да (автозимники)
	Лесосибирск (речной)	нет	да (автозимники)
	Тикси (морской + речной)	нет	да (автозимники)
	Осетрово (речной)	да	да (автозимники)
	Ленекё (речной)	нет	да (автозимники)
	Якутск (речной)	нет	да (автозимники)
	Киренск (речной)	нет	да (автозимники)
	Ленск (речной)	нет	да (автозимники)
	Олёкминск (речной)	нет	да (автозимники)
	Покровск (речной)	нет	да (автозимники)
	Сангар (речной)	нет	да (автозимники)
	Певек (морской)	нет	да (автозимники)
	Эгвекинот (морской)	нет	да (автозимники)
	Беринговский (морской)	нет	да (автозимники)
	Анадырь (морской + речной)	нет	да (автозимники)
	Провидения (морской)	нет	да (автозимники)
	Николаевск-на-Амуре (морской + речной)	да	да
	Ванино (морской + речной)	да	да
	Комсомольск-на-Амуре (речной)	да	да
	Благовещенск (речной)	да	да
	Хабаровск (речной)	да	да
	Находка (морской)	да	да
	Владивосток (морской)	да	да

Жизнь населения северных территорий страны зависит от «Северного завоза» [21, 22]. Ледоколы – атомоходы проводят через льды СМП грузовые суда, а автомобильный транспорт доставляет груз нужному конечному потребителю. Северный морской путь обеспечивает связь 27 субъектов Российской Федерации. Не везде проложены железнодорожные пути, соответственно перевозка до конечного потребителя осуществляется автомобильным транспортом в сложных условиях по автозимникам (рис. 9).



Рисунок 9 – Фото примеров автозимников: а - Автозимник Ямал

(https://transportrussia.ru/templates/yootheme/cache/4_4-2023-2253f59a.jpeg); б - Перевозка нефтепродуктов по автозимнику (<https://static1-repo.aif.ru/1/10/1001362/c/164faee66cbdc67b45465e680b5c74eb.jpg>)

Северный завоз распределяется по районам Крайнего Севера и Арктическим зонам Российской Федерации, внутренний водный транспорт имеет особое значение, поскольку вследствие недостаточного развития автомобильных и железных дорог, фактически обеспечивает жизнедеятельность населения этих районов. Для предприятий внутреннего водного транспорта доставка грузов в эти районы является приоритетной задачей.

За 2021 г. было перевезено 14,645 млн. т, а за 2022 г. 15,901 млн. т грузов, что на 8,6 % больше. Доставка грузов осуществляется на территории бассейнов внутренних водных путей Сибири и Дальнего Востока (табл. 2). Перевозки грузов в навигацию 2022 г. осуществлялись по внутренним водным путям Амурского, Ленского, Енисейского и Обь-Иртышского бассейнов. Фактически потребителям было доставлено 1,544 млн. т грузов. Из них доставлено угля – 519,5 тыс. т, что составляет 33,4 %, нефтепродуктов – 599,4 тыс. т, что составляет 38,8 %, прочих грузов – 344,2 тыс. т, что составляет 22,3 % от общего объема доставленных грузов, включая продтовары, продукцию производственно-технического назначения, сельхозпродукцию. В Ленский бассейн было доставлено 83,5 % от общего количества грузов, в Енисейский 14,2 % от общего количества, в Обь-Иртышский 1,74 %, а в Амурский бассейн было доставлено 0,6 % от общего объема грузов. Эти грузы до конечного потребителя доставляются в большей части автомобильным транспортом.

Выводы

Северный морской путь начал отсчет с 1932 г. Во вторую пятилетку (1933-1937 гг.) Ледорез «Литке» прошел весь СМП за одну навигацию без аварий. Первые грузы по СМП были перевезены лесовозами «Ванцетти» и «Искра». С 1937 г. стали использовать круглогодичные дрейфующие полярные станции. Третья пятилетка (1938-1941 гг.) ознаменовалась успешным двойным сквозным плаванием ледокола «И. Сталин» по СМП за одну навигацию.

Новый этап в освоении СМП начался в мирное время с появлением атомных ледоколов. Огромное судно – ледокол «Ленин» на протяжении 30 лет (1959-1989 гг.) проводил караваны судов по арктическим морям. В 1972 г. был спущен на воду второй ледокол с ядерной энергетической установкой – «Арктика». СМП стал обретать реалии транспортной артерии с 1978 г., когда по маршруту Мурманск-Дудинка семнадцать ледоколов (в том числе восемь атомоходов) начали проводить караваны судов круглогодично, при этом объем перевозок достигал 6-8 млн. т в год.

СМП для международного судоходства был открыт с 1991 г. В настоящее время в связи с глобальным потеплением происходит обильное таяние северных и арктических льдов, что открывает массовый доступ для иностранных судов. Причем СМП позволяет серьезно

экономить энергетические, трудовые и временные ресурсы. На данный момент в СМП входит 13 динамично развивающихся ЛТП.

Северный морской путь даёт возможность сокращения срока и стоимости доставки грузов во внутреннем грузообороте страны. Выявлена растущая роль автомобильного транспорта в организации мультимодальных перевозок через ЛТП морей Северного Ледовитого и Тихого океанов, плюс охватываются территория шести бассейнов крупных рек СМП [3, 7]. Проведены исследования характеристик морских и речных ЛТП бассейнов рек СМП, находящихся в прямой взаимосвязи и обеспечивающие возможность организации эффективных мультимодальных перевозок [5, 10-14]. В восьми морских портах СМП отсутствует железнодорожное сообщение, и вся роль в выполнении перевозок отводится автомобильному транспорту. Автомобильный транспорт осуществляет перевозку грузов во взаимодействии с морским транспортом во всех тринадцати портах СМП, из которых в восьми перевозка возможна только по автозимникам. Речные бассейны разделены на ценовые зоны (принятые ранее в СССР), где действовали устойчивые тарифы на грузовые перевозки. Деление происходило на три ценовых пояса.

Автомобильный транспорт перевозит грузы с использованием автозимников. Перспективы роста мультимодальных перевозок обусловлены возможным взаимодействием морского, речного, железнодорожного и автомобильного транспорта, при перевозке сырьевых материалов, полезных ископаемых, грузов необходимых для разработки и добычи ископаемых и природных ресурсов Крайнего Севера, Арктики, грузов Северного завоза и реализации перспективного ориентира на международные сотрудничество с дружественными государствами, новыми пользователями Северного морского пути РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации от 30.04.1999 N 81-ФЗ (ред. от 28.02.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 21.05.2023) КонсультантПлюс [Электронный ресурс] / URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22916/6082a63e586c9895cba9c7b98c7541a106d93efd/.
2. Повышение эффективности доставки грузов для севера России на основе управления рисками [Электронный ресурс] / Российская государственная библиотека. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01010175296>.
3. Павлов П.А., Столярова Н.Г., Куликов А.В. Интеллектуальная транспортная система организации функционирования автомобильного транспорта при осуществлении мультимодальных перевозок грузов районов Крайнего Севера // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023): Материалы мультиконференции. В 4 т. Т. 4. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет. 2023. С. 163-168.
4. История Севморпути: четыре века от замысла до первого успеха [Электронный ресурс] / URL: <https://arctic-russia.ru/article/istoriya-sevmorputi-chetyre-veka-ot-zamysla-do-pervogo-uspekha/>.
5. Куликов А.В., Полякова Н.Г., Куликов А.А. Определение объема перевозимой партии контейнеров в мультимодальной транспортной системе по маршрутам «Тикси - Якутск» и «Тикси - Осетрово» // Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера: Сборник материалов IV Всероссийского форума. Якутск: Издательский дом СВФУ. 2024. С. 248-256.
6. Никонова В.В., Петрова С.А. Логистические возможности и перспективы П. Тикси // Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера: Сборник материалов IV Всероссийского форума. Якутск: Издательский дом СВФУ. 2024. С. 262-271.
7. Филиппова Н.А. Методология организации и функционирования систем доставки грузов в Северные регионы: монография / под ред. В.М. Беляева. Москва: Техполиграфцентр, 2015. 208 с.
8. Оценка воздействия изменения климата и климатических рисков в транспортных системах / Д. В. Капский, Н. А. Филиппова, Ю. В. Трофименко [и др.]. Москва: ООО «Техполиграфцентр», 2023. 248 с.
9. Филиппова Н.А. Научные пути решения проблем организации и планирования перевозок грузов в районы Крайнего Севера и арктические зоны России // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2024. №2. С. 11-22. DOI 10.25198/2077-7175-2024-2-11.
10. Полякова Н.Г., Столярова П.А., Павлов А.В. Куликов Методы определения объемов перевозок грузов в речных бассейнах РФ // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Материалы XVIII международной научно-практической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет. 2023. С. 363-372.
11. Григоровская К.В., Куликов А.В. Перспективы развития мультимодальной связи портов Амурского бассейна // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Материалы XVIII международной научно-практической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет. 2023. С. 95-102.
12. Гриднев Г.А., Шаповалова Д.А., Куликов А.В. Возможность развития мультимодальных перевозок через порты Северо-Двинского бассейна // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Мате-

риалы XVIII международной научно-практической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет. 2023. С. 102-110.

13. Джуманалиев А.Р., Денисов Г.В., Куликов А.В. Возможность развития мультимодальных перевозок через порты Енисейского бассейна // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Материалы XVIII международной научно-практической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет. 2023. С. 143-150.

14. Петрова А.В., Куликов А.В. Возможность развития мультимодальных перевозок через порты Ленского бассейна // Инновационные решения в области развития транспортных систем и дорожной инфраструктуры: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, приуроченной к профессиональному празднику – Дню работника автомобильного транспорта. Рязань: Рязанский государственный агро-технологический университет им. П.А. Костычева. 2023. С. 90-96.

15. Филиппова Н.А., Иванова А.Е., Ишков А.М. Перспективы развития транспортной доступности Арктических улусов Республики Саха (Якутия) // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-2(80). С. 50-56.

16. Франтов Е.Д., Зайцев С.В. Рейдовая разгрузка судов в условиях Крайнего Севера // Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера: Сборник материалов IV Всероссийского форума. Якутск: Издательский дом СВФУ. 2024. С. 256-261.

17. Куликов А.В., Фирсова С.Ю., Дорохина В.С. Повышение эффективности автомобильных перевозок в условиях Крайнего Севера Российской Федерации // Вестник СибАДИ. 2021. Т. 18. №3(79). С. 286-305. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305>.

18. Грузовые автомобильные перевозки: учебник. Допущено УМО вузов по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Куликов. 3-е изд., испр. Москва: Горячая линия – Телеком, 2016. 560 с.

19. Про ценовые пояса СССР [Электронный ресурс] / URL: <https://arctic-russia.ru/article/istoriya-sevmorputi-chetyre-veka-ot-zamysla-do-pervogo-uspekha>.

20. О северном завозе: Проект Федерального закона №301981-8 [Электронный ресурс] / URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/79306.html>.

21. Северный завоз / М.И. Никишова, М.Е. Кузнецов, В.В. Кубичек [и др.]. Москва: ООО «Академический проект», 2024. 484 с.

22. Фирсова С.Ю., Куликов А.В., Советбеков Б. Роль транспортной логистики в обеспечении экзистенциальной безопасности человека // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета (Бишкек). 2019. Т. 19. №8. С. 97-101.

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

PROSPECTS FOR AUTOMOBILE DEVELOPMENT TRANSPORT IN MULTIMODAL TRANSPORTATION NORTHERN SEA ROUTE OF THE RF

Abstract. *The growing role of road transport in the organization of multimodal transport through the ports of the Arctic and Pacific Oceans is considered, plus the ports of the northern rivers of the Russian Federation are covered. The characteristics of sea ports and ports of river basins, which are in a direct relationship with the provision of cargo transshipment, have been studied. It was revealed that a significant part of the ports have only interaction between road and sea transport. Road transport transports goods using winter roads. We carry out transportation of minerals, hydrocarbon raw materials, cargo for their extraction and cargo necessary for the livelihoods of the population of the northern territories of the country (Northern Delivery cargo). The Northern Sea Route provides communications to 27 constituent entities of the Russian Federation. The article presents important historical moments in the creation and development of the Northern Sea Route. Prospects for the growth of multimodal transportation have been identified, with a special role for road transport highlighted.*

Keywords: *road transport, freight transportation, multimodal transportation, Northern Sea Route, sea and river ports, river basins, Northern delivery*

BIBLIOGRAPHY

1. Kodeks trgovogo moreplavaniya Rossiyskoy Federatsii ot 30.04.1999 N 81-FZ (red. ot 28.02.2023) (s izm. i dop., vstup. v silu s 21.05.2023) Konsul'tantPlyus [Elektronnyy resurs] / URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22916/6082a63e586c9895cba9c7b98c7541a106d93efd/.

2. Povyshenie effektivnosti dostavki грузов dlya severa Rossii na osnove upravleniya riskami [Elektronnyy resurs] / Rossiyskaya gosudarstvennaya biblioteka. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01010175296>.

3. Pavlov P.A., Stolyarova N.G., Kulikov A.V. Intel'lectual'naya transportnaya sistema organizatsii funktsionirovaniya avtomobil'nogo transporta pri osushchestvlenii mul'timodal'nykh perevozkov грузов rayo-nov Kraynego Sev-

era // XVI Vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya (MKPU-2023): Materialy mul'tikonferentsii. V 4 t. T. 4. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet. 2023. S. 163-168.

4. Istoriya Sevmorputi: chetyre veka ot zamysla do pervogo uspekha [Elektronnyy resurs] / URL: <https://arcticrussia.ru/article/istoriya-sevmorputi-chetyre-veka-ot-zamysla-do-pervogo-uspekha/>.

5. Kulikov A.V., Polyakova N.G., Kulikov A.A. Opredelenie ob"ema perevozimoy partii konteynerov v mul'timodal'noy transportnoy sisteme po marshrutam «Tiksi – Yakutsk» i «Tiksi – Osetrovo» // Transportnye sistemy i dorozhnaya infrastruktura Kraynego Severa: Sbornik materialov IV Vserossiyskogo foruma. YAkutsk: Izdatel'skiy dom SVFU. 2024. S. 248-256.

6. Nikonova V.V., Petrova S.A. Logisticheskie vozmozhnosti i perspektivy P. Tiksi // Transportnye sistemy i dorozhnaya infrastruktura Kraynego Severa: Sbornik materialov IV Vserossiyskogo foruma. YAkutsk: Izdatel'skiy dom SVFU. 2024. S. 262-271.

7. Filippova N.A. Metodologiya organizatsii i funktsionirovaniya sistem dostavki грузов v Severnye regiony: monografiya / pod red. V.M. Belyaeva. Moskva: Tekhpologitsentr, 2015. 208 s.

8. Otsenka vozdeystviya izmeneniya klimata i klimaticheskikh riskov v transportnykh sistemakh / D. V. Kap-skiy, N. A. Filippova, YU. V. Trofimenko [i dr.]. Moskva: OOO "Tekhpologitsentr", 2023. 248 s.

9. Filippova N.A. Nauchnye puti resheniya problem organizatsii i planirovaniya perevozok грузов v rayony Kraynego Severa i arkticheskie zony Rossii // Intellect. Innovatsii. Investitsii. 2024. №2. S. 11-22. DOI 10.25198/2077-7175-2024-2-11.

10. Polyakova N.G., Stolyarova P.A., Pavlov A.V. Kulikov Metody opredeleniya ob"emov perevozok грузов v rechnykh basseynakh RF // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Materialy XVIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet. 2023. S. 363-372.

11. Grigorovskaya K.V., Kulikov A.V. Perspektivy razvitiya mul'timodal'noy svyazi portov Amurskogo basseyna // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Materialy XVIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet. 2023. S. 95-102.

12. Gridnev G.A., Shapovalova D.A., Kulikov A.V. Vozmozhnost' razvitiya mul'timodal'nykh perevozok cherez porty Severo-Dvinskogo basseyna // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Materialy XVIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet. 2023. S. 102-110.

13. Dzhumanaliev A.R., Denisov G.V., Kulikov A.V. Vozmozhnost' razvitiya mul'timodal'nykh perevozok cherez porty Eniseyskogo basseyna // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Materialy XVIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet. 2023. S. 143-150.

14. Petrova A.V., Kulikov A.V. Vozmozhnost' razvitiya mul'timodal'nykh perevozok cherez porty Lenskogo basseyna // Innovatsionnye resheniya v oblasti razvitiya transportnykh sistem i dorozhnoy infrastruktury: Materialy Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, priurochennoy k professional'nomu prazdniku - Dnyu rabotnika avtomobil'nogo transporta. Ryazan': Ryazanskyy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskyy universitet im. P.A. Kostycheva. 2023. S. 90-96.

15. Filippova N.A., Ivanova A.E., Ishkov A.M. Perspektivy razvitiya transportnoy dostupnosti Arkticheskikh ulusov Respubliki Sakha (YAkutiya) // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №1-2(80). S. 50-56.

16. Frantov E.D., Zaytsev S.V. Reydovaya razgruzka sudov v usloviyakh Kraynego Severa // Transportnye sistemy i dorozhnaya infrastruktura Kraynego Severa: Sbornik materialov IV Vserossiyskogo foruma. YAkutsk: Izdatel'skiy dom SVFU. 2024. S. 256-261.

17. Kulikov A.V., Firsova S.YU., Dorokhina V.S. Povyshenie effektivnosti avtomobil'nykh perevozok v usloviyakh Kraynego Severa Rossiyskoy Federatsii // Vestnik SibADI. 2021. T. 18. №3(79). S. 286-305. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305>.

18. Gruzovye avtomobil'nye perevozki: uchebnik. Dopushcheno UMO vuzov po obrazovaniyu v oblasti transportnykh mashin i transportno-tekhnologicheskikh kompleksov / A.V. Vel'mozhin, V.A. Gudkov, L.B. Mirotin, A.V. Kulikov. 3-e izd., ispr. Moskva: Goryachaya liniya - Telekom, 2016. 560 s.

19. Pro tsenovye poyasa SSSR [Elektronnyy resurs] / URL: <https://arctic-russia.ru/article/istoriya-sevmorputi-chetyre-veka-ot-zamysla-do-pervogo-uspekha>.

20. O severnom zavoze: Proekt Federal'nogo zakona №301981-8 [Elektronnyy resurs] / URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/79306.html>.

21. Severnyy zavoz / M.I. Nikishova, M.E. Kuznetsov, V.V. Kubichek [i dr.]. Moskva: OOO «Akademicheskiy proekt», 2024. 484 s.

22. Firsova S.YU., Kulikov A.V., Sovetbekov B. Rol' transportnoy logistiki v obespechenii ekzistentsional'noy bezopasnosti cheloveka // Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta (Bishkek). 2019. T. 19. №8. C. 97-101.

Kulikov Alexey Viktorovich

Volgograd State Technical University

Address: 400005, Russia, Volgograd, V.I. Lenin Ave., 28

Candidate of Technical Sciences

E-mail: v2xoda@ya.ru

А.Н. ЯКУБОВИЧ, Г.В. БУКИН, И.А. ЯКУБОВИЧ

ФОРМИРОВАНИЕ ОПОРНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ АВТОТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Аннотация. С использованием метода роя частиц на территории Москвы выявлены точки притяжения как основа для дальнейшего развертывания на прилегающих территориях сети зарядных станций электромобилей. Для каждой точки притяжения определена относительная доля прогнозируемой нагрузки от электротранспорта, обуславливающая суммарное количество и мощность станций. Нагрузка оценивалась по косвенному показателю – распределяющихся по территории объемам пассажиропотоков, для учета годовой изменчивости которых использовалось семейство кривых Пирсона.

Ключевые слова: зарядная сеть электромобилей, оптимизация задач высокой размерности, кривые Пирсона, роевой интеллект

Введение

Сети зарядных станций для электромобилей являются важной, ускоренно развивающейся частью автотранспортной инфраструктуры; вопросам планирования и развертывания этих сетей посвящено большое количество исследований. Сценарное прогнозирование рынка электромобилей и средств их зарядки, выполненное в [1], показывает, что к 2030 году в России будет необходимо эксплуатировать не менее 332 тысяч зарядных станций (портов), при этом на 1 станцию в среднем будет приходиться 10 электромобилей. Общие подходы к планированию сетей зарядных станций на региональном уровне, предусматривающие сценарный анализ перспективной численности электромобилей разных типов, рассмотрены в [2]; анализ типичных и наиболее значимых проблем и рисков при развертывании электрозарядной инфраструктуры описан в [3].

Зарубежный опыт создания и использования сетей зарядных станций рассмотрен в [4], по результатам анализа этого опыта определены магистральные направления развития этих сетей, основанные на комплексном междисциплинарном подходе к разработке технико-технологических и социально-экономических решений проблем территориального планирования городской зарядной инфраструктуры. Наиболее существенные факторы, влияющие на выбор типов и мест расположения зарядных станций как элементов городской автотранспортной инфраструктуры, систематизированы в [5]. Виды моделей, наиболее эффективных при разработке проектов размещения электрозарядных станций, рассмотрены в [6]; вопросам оптимизации основных эксплуатационных показателей сетей зарядных станций, в том числе наиболее целесообразной цены за электроэнергию, посвящено исследование [7]. Различные аспекты размещения средств зарядки электромобилей на определенных видах городских территорий (придомовые территории, водоохранные зоны, автостоянки) рассмотрены в [8-10], в том числе предложена методика оценки пожарного риска для электромобиля или зарядной станции. Важным обстоятельством, существенно влияющим на выбор мест расположения электрозарядной инфраструктуры, является наличие свободной электрической мощности требуемого объема; возможные пути решения проблемы недостатка мощностей с использованием системы накопления электроэнергии показаны в [11]. Вопросам опережающего планирования структуры энергетических мощностей с учетом будущих потребностей для зарядки электромобилей посвящено исследование [12]. Многоаспектный анализ конструктивных особенностей и технико-экономических показателей электрозарядного оборудования, результаты которого приведены в [13-15], позволяет сформулировать основные положения методики по созданию новых перспективных моделей зарядной инфраструктуры, в том

числе на основе распределенных сетей с использованием режима фазового состояния запитанных или не запитанных электротоком кабелей. В результате предполагается существенное снижение затрат и ускорение темпов первичного развертывания сетей зарядки электромобилей.

Особенности формирования электрозарядной инфраструктуры на примере отдельных регионов и городов рассмотрены в работах [16-19], отмечена важность максимально точного прогнозирования численности и структуры парка электромобилей на весь плановый период. Показано, что эффективное развитие сетей зарядных станций достигается в условиях углубленного взаимодействия государства и бизнеса, когда опережающий ввод в эксплуатацию средств зарядки стимулирует население при приобретении электромобилей.

Материал и методы

Опорная сеть электрозарядной инфраструктуры формируется как совокупность расщелоточенных по территории точек притяжения автодорожного электротранспорта. Точное расположение точек притяжения $P = \{(x_1; y_1), \dots, (x_n; y_n)\}$ выявляется путем решения оптимизационной задачи

$$F(P) = \iint [w(x, y) \min_i r_i] dx dy \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $w(x, y)$ – плотность нагрузки на территорию от электротранспорта в точке (x, y) ;

r_i – расстояние от i -й точки притяжения до точки (x, y) . Интегрирование в (1) выполняется по площади, на которой формируется опорная сеть электрозарядной инфраструктуры. Очевидно, что точное решение задачи (1) возможно только при выполнении достаточно сильных ограничений для геометрической формы территории и для вида зависимости $w(x, y)$, что при выполнении практических расчетов делает необходимым использование упрощенных подходов.

Для приближенного вычисления $F(P)$ территория разбивается регулярной сеткой на квадратные ячейки со сторонами размером Δ ; координаты центра k -й ячейки обозначаются как (x_k, y_k) . В предположении, что все точки притяжения располагаются в центре какой-либо из K ячеек, оптимальное расположение этих точек определяется из условия:

$$f(P) = \sum_{k=1}^K \bar{w}_k \Delta^2 \min_i \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где \bar{w}_k – средняя плотность нагрузки на территорию в ячейке с центром (x_k, y_k) . Очевидно, что по мере уменьшения Δ приближенное решение (2) стремится к точному решению (1).

Отдельным вопросом является прогнозирование нагрузки на территорию, которая в настоящей работе моделируется на основе косвенного показателя – объемов прибывающих пассажиропотоков, в дальнейшем распределяющихся по территории в соответствии с законом нормального распределения. Для одной точки прибытия потока объемом V модельная нагрузка в j -й ячейке определяется в последовательности:

$$h_j = e^{-\frac{r_j^2}{(\frac{r_{\max}}{3})^2}}; \quad H_j = \frac{h_j}{\sum_{k=1}^K h_k} V, \quad (3)$$

где h_j – плотность вероятности для j -й ячейки;

r_j – расстояние между центром ячейки и пунктом прибытия пассажиропотока (точкой генерации нагрузки на территорию);

r_{\max} – расстояние между точкой генерации нагрузки и наиболее удаленной ячейкой;

H_j – суммарный пассажиропоток, распределяющийся на j -ю ячейку (модельная нагрузка на территорию). При этом модельная нагрузка и средняя плотность нагрузки связаны соотношением:

$$H_j = \bar{w}_j \Delta^2. \quad (4)$$

Для учета сезонной или годовой изменчивости объемов пассажиропотоков при расчете нагрузки на территорию используются модельные значения V с фиксированной обеспе-

ченностью (вероятностью неперевышения модельного значения в течение всего рассматриваемого периода). При этом объем потока рассматривается как случайная величина \tilde{V} , для которой совокупность известных объемов потока в отдельные моменты времени образовывала выборку $[V_1, \dots, V_m]$. Закон и параметры распределения случайной величины определяются из условия совпадения первых четырех статистических моментов для \tilde{V} и для выборки, что приводит к использованию семейства кривых Пирсона как функций плотности вероятностей. На основе соответствующей выборке кривой Пирсона определяется модельное значение V с заданной обеспеченностью.

Теория

Несмотря на существенное снижение объема вычислительной работы по сравнению с (1), нахождение оптимального решения (2) для практических задач возможно только при относительно небольшом количестве точек притяжения n . Поскольку вычислительная сложность полного перебора вариантов составляет $O(K^n)$, уже при $K \approx 100$ максимально возможное количество точек притяжения ограничено условием $n \leq 4$, а начиная с $K \approx 1000$ практически невозможно сформировать опорную сеть более чем с тремя точками притяжения.

Преодолеть ограничение на количество точек притяжения возможно при использовании методов роевого интеллекта. В частности, в алгоритме метода роя частиц рассматривается многомерное гиперпространство, каждой точке которого соответствует один из возможных вариантов опорной сети. Поскольку для каждой точки притяжения ее расположение на территории определяется единственным значением (номером ячейки, в центре которой эта точка находится), то при n опорных точках используется n -мерное дискретное гиперпространство, в котором множество опорных точек фиксируется как n неповторяющихся целочисленных значений $\{z_1, \dots, z_n\}$ в диапазоне от 1 до K каждое. Таким образом, набор этих значений представляет собой координаты некоторой точки $Z(z_1, \dots, z_n)$ в n -мерном гиперпространстве. Поиск оптимальной точки осуществляется с помощью S частиц, которые на первом шаге вычислительного процесса располагаются случайным образом. Для каждой частицы вычисляется значение функции $f(Z)$ (2), для чего предварительно номер каждой точки притяжения z_i преобразуется в координаты центра соответствующей ячейки (x_i, y_i) , и далее выполняется переход к следующему шагу как перемещение всех частиц в новые положения с координатами:

$$\begin{aligned} z_{i,t+1}^{(s)} &= z_{i,t}^{(s)} + \delta_{i,t+1}^{(s)}; \\ \delta_{i,t+1}^{(s)} &= \omega \delta_{i,t}^{(s)} + \varphi_b \tilde{u} \left(b_i^{(s)} - z_{i,t}^{(s)} \right) + \varphi_g \tilde{u} \left(g_i - z_{i,t}^{(s)} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

где $z_{i,t+1}^{(s)}$ – новое значение i -й координаты частицы s (на $t + 1$ шаге вычислительного процесса);

$z_{i,t}^{(s)}$ – предыдущее значение этой же координаты;

$\delta_{i,t+1}^{(s)}$ – величина перемещения частицы;

ω , φ_b и φ_g – коэффициенты, задаваемые перед началом поиска и в дальнейшем не изменяющиеся;

\tilde{u} – случайное значение от 0 до 1;

$b_i^{(s)}$ – i -я координата частицы s в ее положении с минимальным значением функции $f(Z)$ за все предыдущие шаги (наилучшее из ранее найденных положение частицы);

g_i – i -я координата для наилучшего положения среди всех частиц за все предыдущие шаги.

Процедура поиска наилучшей точки состоит из T шагов, в течение которых S частиц перемещаются в гиперпространстве по взаимно согласованным правилам (5) с одновременной оценкой своего текущего положения с помощью (2). Результатом поиска является точка $G(g_1, \dots, g_n)$ с минимальным найденным значением функции $f(G)$, которое не обязательно является наилучшим из всех возможных (т.е. возможно нахождение локального, а не глобального оптимума, что является определенным недостатком методов роевого интеллекта).

Для повышения качества результатов целесообразно выполнять процедуру поиска неоднократно, каждый раз с новым начальным расположением частиц или другими значениями коэффициентов ω , φ_b и φ_g .

После выявления оптимальной (или в той или иной степени близкой к оптимальной) опорной сети итоговое значение $f(G)$ распределяется по отдельным точкам притяжения для прогнозирования количества и мощности электрозарядного оборудования на прилегающих территориях. Дальнейшая детализация мест установки, видов и мощности оборудования выполняется на основе анализа особенностей территории и носит, в значительной степени, субъективный характер.

Результаты и обсуждение

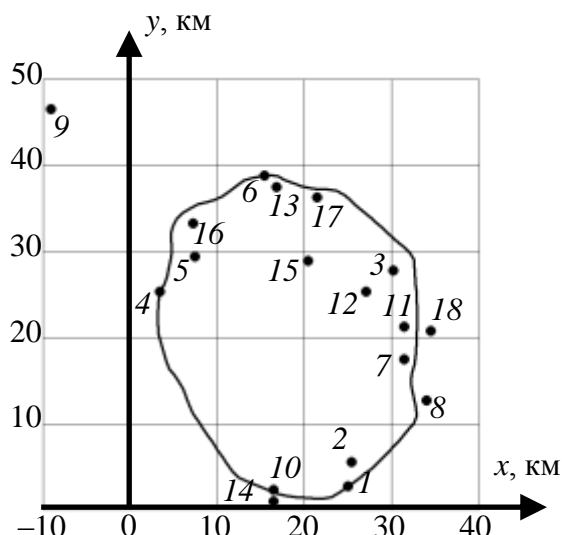
При реализации вышеописанной методики формирования опорной сети электрозарядной инфраструктуры для г. Москва предполагалось, что прибывающие из Московской области пассажиры являются репрезентативной выборкой будущих автовладельцев в городе, в том числе владельцев электромобилей, а распределение прибывающих пассажиров по территории Москвы хорошо коррелирует с нагрузкой от электромобилей, определяемой их количеством и временем пребывания. В качестве источников модельной нагрузки принимались точки прибытия автобусных маршрутов, всего были учтены статистические данные по 18 источникам с общим количеством 274 маршрутов за 2024 год. Объемы пассажиропотоков в источниках определялась суммированием количества прибывающих пассажиров по отдельным месяцам года, что в дальнейшем позволяло учитывать изменчивость пассажиропотоков в течение года. Объемы потоков по отдельным месяцам образовывали выборку, на основании которой выявлялась наиболее подходящая кривая Пирсона и далее определялся модельный объем потока с обеспеченностью 90 %.

Расположение источников модельной нагрузки показано на рисунке 1а, основные показатели изменчивости потоков в источниках приведены в таблице 1. Используемые на рис. 1 координаты источников нагрузки и граничных точек Москвы (в пределах МКАД) получены преобразованием географических координат (широты и долготы) в прямоугольную систему координат Гаусса-Крюгера с центральным меридианом $B_0 = 37^\circ$ и последующим смещением начала координат в точку ($x_0 = 20$ км; $y_0 = 6160$ км). В таблице 1 можно видеть, что объемы потоков по отдельным источникам характеризуются существенно разной изменчивостью в течение года. Наиболее стабильными являются потоки в источниках «Медведково», «Домодедовская», «Планерная» и «Запад», для которых коэффициент вариации менее 8 %. Максимальной изменчивостью (коэффициент вариации более 20%) характеризуются потоки в источниках «Котельники», «ВДНХ» и «БДД». Характер этой изменчивости, определяемый особенностями функции плотности вероятностей, также существенно различается по отдельным источникам. Например, для источника «Выхино» (рис. 1б) имеет место распределение, практически совпадающее с нормальным законом; для источника «Лесопарковая» (рис. 1в), наоборот, распределение сильно отличается от нормального и является близким к равномерному.

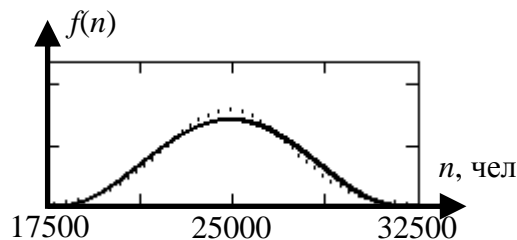
Распределение модельной нагрузки на территорию, полученное в соответствии с (3), показано на рисунке 2; пиковые значения соответствуют источникам нагрузки. Необходимо отметить заметное влияние размера ячейки Δ на величину плотности нагрузки вблизи источников. При $\Delta = 1000$ м (сетка, для которой получены результаты на рисунке 2) максимальная плотность нагрузки составляет $\bar{w}_{\max} = 1462$ чел/км²; сетка с ячейкой размером $\Delta = 500$ м приводит к значению $\bar{w}_{\max} = 1980$ чел/км², а при $\Delta = 250$ м получаем $\bar{w}_{\max} = 3155$ чел/км². При увеличении размера ячейки плотность нагрузки вблизи источников, наоборот, снижается. На расстоянии от источника более $(2 \dots 3)\Delta$ влияние размера ячейки является пренебрежимо малым. Также при объединении ячеек (например, четырех смежных ячеек размерами $\Delta = 500$ м в одну ячейку размером $\Delta = 1000$ м) плотность нагрузки для объединенной и большой исходной ячеек практически совпадает даже вблизи мест расположения

источников.

а



б



в

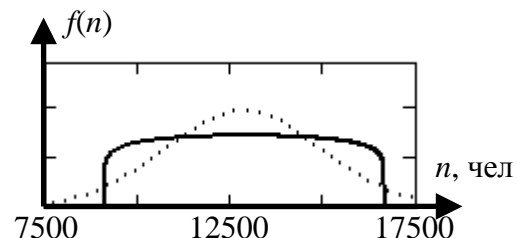


Рисунок 1 – Источники модельной нагрузки на территорию Москвы

а – терминальные точки основных пассажирских потоков, прибывающих из Московской области (нумерация точек в соответствии с табл. 1), б – плотность вероятности среднемесячного объема потока для точки 7 (пунктирная линия – нормальный закон распределения, сплошная – кривая Пирсона), в – то же для точки 10

Таблица 1 – Статистическая характеристика источников нагрузки на территорию

№ п/п	Наименование	Географические координаты, градусов		Статистические параметры изменчивости объемов пассажиропотоков			
		<i>B</i>	<i>L</i>	среднее значение μ , чел.	стандартное отклонение σ , чел.	коэффициент вариации v , %	объем с обеспеченностью 90%, чел.
1	Юг	55,5855	37,7129	16807	1568	9,3	18789
2	Домодедовская	55,6107	37,7197	57535	4331	7,5	61224
3	Щелковская	55,8099	37,7994	60002	5251	8,8	66829
4	Запад	55,7899	37,3729	18251	1431	7,8	20080
5	Тушинская	55,8266	37,4370	23230	2085	9,0	25944
6	Север	55,9104	37,5657	10040	1110	11,1	11486
7	Выхино	55,7170	37,8178	24871	2700	10,9	28271
8	Котельники	55,6741	37,8582	5930	1413	23,8	8216
9	Крюково	55,9809	37,1748	25918	2356	9,1	28973
10	Лесопарковая	55,5822	37,5779	12895	2228	17,3	15802
11	Новогиреево	55,7513	37,8190	26161	2307	8,8	29091
12	Партизанская	55,7885	37,7498	13663	1333	9,8	15383
13	Алтуфьево	55,8982	37,5874	13113	1677	12,8	15485
14	БДД	55,5704	37,5773	40973	8476	20,7	54232
15	ВДНХ	55,8213	37,6438	42811	9661	22,6	53932
16	Планерная	55,8612	37,4346	30207	2296	7,6	32236
17	Медведково	55,8869	37,6618	18848	1324	7,0	20033
18	Новокосино	55,7463	37,8671	24213	2142	8,8	26966

На рисунке 3 показана модельная нагрузка на территорию Москвы от всех источников с обеспеченностями объемов потоков 90%, размер сетки принят $\Delta = 125$ м. Визуально хорошо выделяются зоны наибольшей нагрузки, в которых целесообразно расположить точки притяжения.

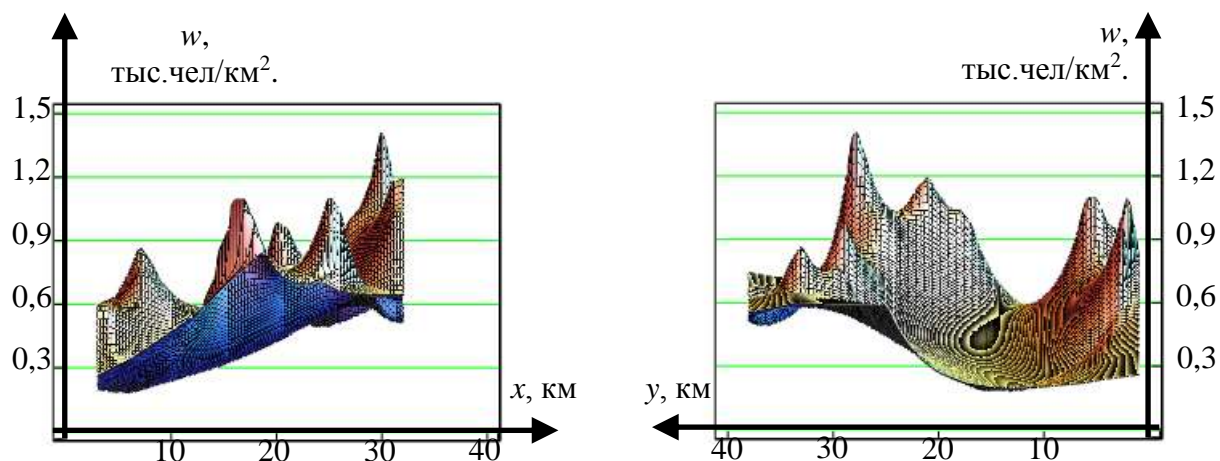


Рисунок 2 – Распределение модельной нагрузки по территории

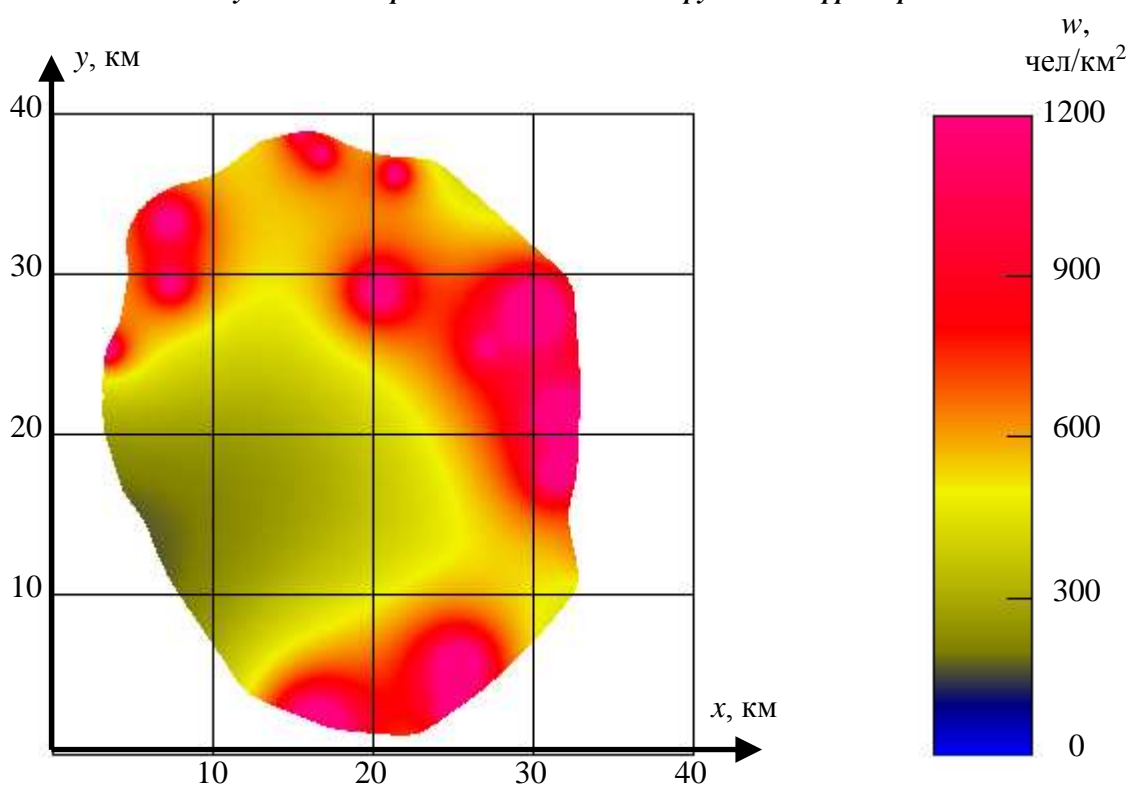


Рисунок 3 – Нагрузка территории Москвы (в границах МКАД) с обеспеченностью 90 %

В таблице 2 приведены результаты поиска наилучшего положения точек притяжения при размере опорной сети от 2 до 6 точек; соответственно, размерность гиперпространства поиска в методе роевого интеллекта варьировалась от $n = 2$ до $n = 6$. Во всех вариантах использовалось 5 частиц, коэффициенты процедуры поиска (5) принимались также одинаковыми: $\omega = 0,9$ («быстрые» частицы), $\varphi_b = 0,6$ (средняя ценность предыдущих результатов по каждой отдельной частице) и $\varphi_g = 0,1$ (критичное восприятие ранее достигнутых глобальных результатов поиска).

Для каждого варианта опорной сети выполнялось по 10 независимых попыток поиска, наилучшие достигнутые результаты показаны в таблице 2 полужирным курсивом. Расположение точек притяжения, соответствующее наилучшим решениям, показано на рисунке 4; в процентах обозначена доля суммарной нагрузки на территорию города, отнесенная к определенной точке притяжения.

Таблица 2 – Результаты выявления точек притяжения методом роевого интеллекта

Итерация	Количество точек притяжения				
	2	3	4	5	6
1	4468,17	3529,39	3096,57	2784,71	2590,05
2	4453,85	3580,44	3184,58	2735,56	2750,91
3	4441,70	3571,48	3070,69	2862,36	2672,08
4	4453,97	3499,46	3052,33	2783,40	2627,95
5	4449,00	3615,66	3045,37	2755,64	2580,72
6	4569,77	3495,92	3199,19	2780,01	2658,85
7	4449,00	3444,62	3154,70	2830,30	2660,01
8	4449,00	3444,46	3127,02	2917,83	2534,59
9	4598,55	3636,61	3066,35	2770,87	2508,64
10	4442,40	3649,57	3251,82	2815,76	2625,70
Коэффициент вариации, %	1,3	1,9	2,3	1,9	2,7
Максимальная ошибка, %	3,5	6,0	6,8	6,7	9,7

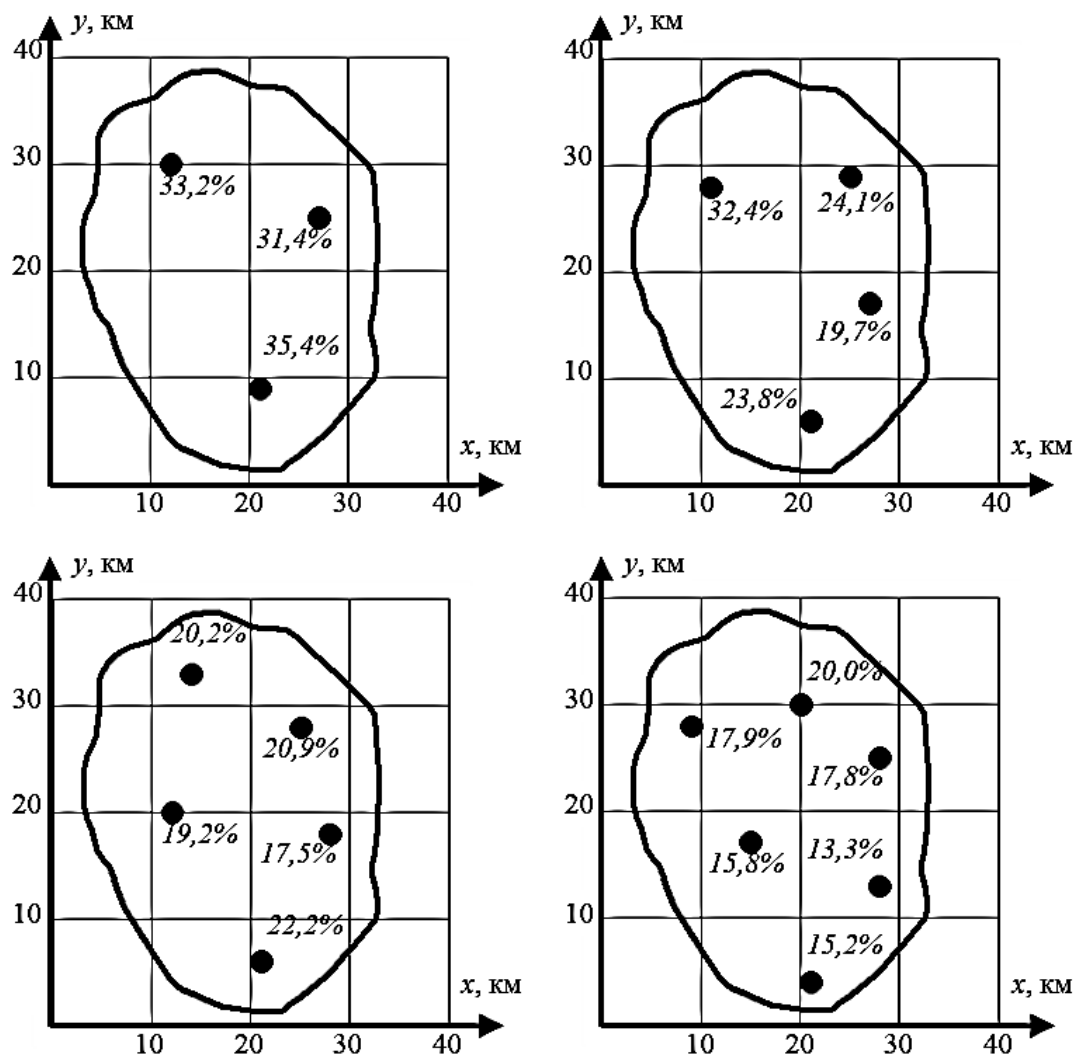


Рисунок 4 – Оптимальное расположение точек притяжения

Выводы

Формирование сети электрозарядных станций для автотранспорта целесообразно осуществлять несколькими опережающими темпами по сравнению со скоростью насыщения автопарка электромобилями, что создаст дополнительные стимулы для автовладельцев при выборе соответствующих автотранспортных средств. При этом, в силу вероятностного характера будущей структуры автопарка с точки зрения количества и видов электротранспорта,

наиболее эффективно осуществлять планирование сети электростанций методом «сверху вниз», последовательно уточняя и детализируя размещение на территории города точек притяжения, зарядных площадок и отдельных портов зарядки. Такой подход позволит минимизировать затраты на развертывание электростанционной сети и максимизировать эффективность ее дальнейшего использования.

Особое значение имеет точность и обоснованность прогнозных оценок для показателей, определяющих количество и мощность зарядных станций для будущих потребностей автопарка. Повышение достоверности этих оценок достигается, в том числе, применением надежных средств статистической обработки данных, примером чего в настоящей работе является использование кривых Пирсона в качестве функций плотности вероятностей для случайных величин – косвенных показателей модельной нагрузки на территорию от электро-транспорта. Важным направлением дальнейших исследований является идентификация зависимостей, количественно связывающих значения косвенных показателей нагрузки на территорию и параметров зарядных станций – типа, количества, мощности и т.д.

Методы роевого интеллекта, в том числе метод роя частиц, являются действенным средством решения оптимизационных задач высокой размерности, в том числе связанных с поиском наилучших вариантов расположения на местности зарядных станций электромобилей. Повышение вероятности получения близких к оптимальным решений достигается за счет многократного повторения вычислительного процесса с различными сочетаниями исходных параметров расчета. Окончательный выбор количества точек притяжения в составе опорной сети электростанционных станций целесообразно осуществлять на основе дополнительного технико-экономического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дергоусова А.В., Ивахненко А.М., Фаддеева Е.Ю., Михеев Н.Е. Развитие рынка электромобилей и зарядной инфраструктуры // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2024. №9. С. 63-70.
2. Евдокимов Д.Ю., Пономарев Ю.Ю. Развитие электрозаправочной инфраструктуры в регионах России: сценарный анализ // Экономическое развитие России. 2022. №11. С. 59-76.
3. Великореский А.А., Орлова Е.С., Прошкин Н.Е., Журавлев А.А. Анализ проблем и тенденций развития электростанционной инфраструктуры // Муниципальная академия. 2024. №2. С. 114-126.
4. Кизиль Е.В. Исследование зарядной инфраструктуры: методики, ведущие тренды и перспективы развития // Ученые записки Международного банковского института. 2024. №3. С. 70-92.
5. Трегубов Ф.О., Трегубова И.М., Гаваев А.С. Выявление наиболее существенных требований для проектирования городской электрической зарядной станции // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2023. №2. С. 7-13.
6. Глезин И.А. Анализ логистической инфраструктуры при размещении станций зарядки электромобилей // Научный аспект. 2024. №6. С. 990-1004.
7. Xiong Q., Zhang Z., Bazhanov A. [et al.] Electric Vehicle Charging Scheduling and Pricing Based on Stackelberg Game // Bulletin of Science and Practice. 2022. Vol.8(8). P. 387-402.
8. Канеп С.Э., Мигалева М.А., Тряпкин П.В. Методические основы по размещению зарядных станций на придомовых территориях жилых многоквартирных зданий // Архитектура и строительство России. 2024. №2. С. 68-73.
9. Власов Г.В. Размещение станций для зарядки электромобилей в водоохраных зонах // Экология производства. 2023. №11. С. 52-60.
10. Харламенков А.С. Оценка пожарного риска на автостоянках с наличием мест для зарядки электромобилей // Пожаровзрывобезопасность. 2024. №1. С. 94-99.
11. Воронин В.А., Непша Ф.С., Анушенко С.Ю. Использование систем накопления электроэнергии для зарядных станций электромобилей в условиях ограничений на технологическое присоединение // Электроэнергия. Передача и распределение. 2024. №5. С. 80-90.
12. Зорина Т.Г., Александрович С.А., Трухан Ю.Л. Прогноз структуры энергетических мощностей с учетом развития электротранспорта в Республике Беларусь // Вестник Белорусского государственного экономического университета. 2023. №3. С. 43-50.
13. Трифонова Н.В., Власова М.С., Кизиль Е.В. [и др.] Зарядная инфраструктура для электромобилей: развитие эмпирической и исследовательской базы // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. №7. С. 49-60.

14. Электрозарядная инфраструктура электромобильного транспорта: Монография / А.В. Кочетков, П.А. Журавлев, В.В. Талалай, В.В. Янковский. М.: ООО «Стройинформиздат», 2022. 208 с.
15. Кочетков А.В., Талалай В.В., Васильев Ю.Э. Цифровая экономика распределенной сети электрозарядной инфраструктуры мобильного электротранспорта // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. №3. С. 707-716.
16. Дружинина Т.Я., Дякив Б.Т., Дудина П.А. Перспективы развития рынка электротранспорта и зарядной инфраструктуры в Иркутской области // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2023. №3. С. 283-286.
17. Воронин В.А., Ф.С. Непша Мультиагентное моделирование развития электрозарядной инфраструктуры города Кемерово // Электроэнергия. Передача и распределение. 2023. №3. С. 10-17.
18. Булавина Т.Г., Г.С. Зайцев Перспективы развития инфраструктуры зарядки электромобилей в городе Вологде // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2023. №2. С. 62-65.
19. Маркова Л.А., Воротников А.М. Взаимодействие государства и бизнеса по развитию зарядной инфраструктуры для электротранспорта г. Москвы // Журнал естественнонаучных исследований. 2022. №1. С. 29-40.

Якубович Анатолий Николаевич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64
Д.т.н., профессор кафедры автоматизированных систем управления
E-mail: 54081@mail.ru

Букин Глеб Владимирович

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64
Аспирант
E-mail: glebbukin@mail.ru

Якубович Ирина Анатольевна

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64
Д.т.н., профессор кафедры эксплуатации автотранспорта и автосервиса
E-mail: yakubovich_irina@mail.ru

A.N. YAKUBOVICH, G.V. BUKIN, I.A. YAKUBOVICH

FORMATION OF A REFERENCE NETWORK OF ELECTRIC CHARGING INFRASTRUCTURE FOR VEHICLES BASED ON SWARM INTELLIGENCE METHODS

Abstract. *Using the particle swarm method on the territory of Moscow, points of attraction were identified as the basis for further deployment of a network of electric vehicle charging stations in the adjacent territories. For each point of attraction, the relative proportion of the predicted load from electric transport is calculated, which determines the total number and capacity of stations. The load was estimated by an indirect indicator – the volume of passenger traffic distributed over the territory, to account for the annual variability of which the Pearson family of curves was used.*

Keywords: *electric vehicle charging network, optimization of high-dimensional tasks, Pearson curves, swarm intelligence*

BIBLIOGRAPHY

1. Dergousova A.V., Ivakhnenko A.M., Faddeeva E.YU., Mikheev N.E. Razvitie rynka elektromobiley i zaryadnoy infrastruktury // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2024. №9. S. 63-70.
2. Evdokimov D.YU., Ponomarev YU.YU. Razvitie elektrozapravochnoy infrastruktury v regionakh Rossii: stsennyy analiz // Ekonomicheskoe razvitie Rossii. 2022. №11. S. 59-76.
3. Velikoretskiy A.A., Orlova E.S., Proshkin N.E., Zhuravlev A.A. Analiz problem i tendentsiy razvitiya elektrozaryadnoy infrastruktury // Munitsipal'naya akademiya. 2024. №2. S. 114-126.
4. Kizil' E.V. Issledovanie zaryadnoy infrastruktury: metodiki, vedushchie trendy i perspektivy razvitiya // Uchenye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta. 2024. №3. S. 70-92.
5. Tregubov F.O., Tregubova I.M., Gavaev A.S. Vyyavlenie naibolee sushchestvennykh trebovaniy dlya proektirovaniya gorodskoy elektricheskoy zaryadnoy stantsii // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. 2023. №2. S. 7-13.

6. Glezin I.A. Analiz logisticheskoy infrastruktury pri razmeshchenii stantsiy zaryadki elektromobiley // Nauchnyy aspekt. 2024. №6. S. 990-1004.
7. Xiong Q., Zhang Z., Bazhanov A. [et al.] Electric Vehicle Charging Scheduling and Pricing Based on Stackelberg Game // Bulletin of Science and Practice. 2022. Vol.8(8). P. 387-402.
8. Kanep S.E., Migaleva M.A., Tryapkin P.V. Metodicheskie osnovy po razmeshcheniyu zaryadnykh stantsiy na pridoimovyykh territoriyakh zhilykh mnogokvartirnykh zdaniy // Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii. 2024. №2. S. 68-73.
9. Vlasov G.V. Razmeshchenie stantsiy dlya zaryadki elektromobiley v vodookhrannykh zonakh // Ekologiya proizvodstva. 2023. №11. S. 52-60.
10. Harlamenkov A.S. Otsenka pozhnogo riska na avtostoyankakh s nalichiem mest dlya zaryadki elektromobiley // Pozharovzryvobezopasnost'. 2024. №1. S. 94-99.
11. Voronin V.A., Nepsha F.S., Anushenko S.YU. Ispol'zovanie sistem nakopleniya elektroenergii dlya zaryadnykh stantsiy elektromobiley v usloviyakh ogranicheniy na tekhnologicheskoe prisoedinenie // Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. 2024. №5. S. 80-90.
12. Zorina T.G., Aleksandrovich S.A., Trukhan YU.L. Prognoz struktury energeticheskikh moshchnostey s uchetom razvitiya elektrottransporta v Respublike Belarus' // Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. 2023. №3. S. 43-50.
13. Trifonova N.V., Vlasova M.S., Kizil' E.V. [i dr.] Zaryadnaya infrastruktura dlya elektromobiley: razvitie empiricheskoy i issledovatel'skoy bazy // Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. 2024. №7. S. 49-60.
14. Elektrozaryadnaya infrastruktura elektromobil'nogo transporta: Monografiya / A.V. Kochetkov, P.A. ZHurvayev, V.V. Talalay, V.V. Yankovskiy. M.: OOO «Stroyinformizdat», 2022. 208 s.
15. Kochetkov A.V., Talalay V.V., Vasil'ev YU.E. Tsifrovaya ekonomika raspredelennoy seti elektrozaryadnoy infrastruktury mobil'nogo elektrottransporta // Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie. 2018. №3. S. 707-716.
16. Druzhinina T.YA., Dyakiv B.T., Dudina P.A. Perspektivy razvitiya rynka elektrottransporta i zaryadnoy infrastruktury v Irkutskoy oblasti // Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii. 2023. №3. S. 283-286.
17. Voronin V.A., F.S. Nepsha Mul'tiagentnoe modelirovanie razvitiya elektrozaryadnoy infrastruktury goroda Kemerovo // Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. 2023. №3. S. 10-17.
18. Bulavina T.G., G.S. Zaytsev Perspektivy razvitiya infrastruktury zaryadki elektromobiley v gorode Vologde // Vestnik Vologodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2023. №2. S. 62-65.
19. Markova L.A., Vorotnikov A.M. Vzaimodeystvie gosudarstva i biznesa po razvitiyu zaryadnoy infrastruktury dlya elektrottransporta g. Moskvy // ZHurnal estestvennonauchnykh issledovaniy. 2022. №1. S. 29-40.

Yakubovich Anatoly Nicolaevich

Moscow Automobile and Road Transport State Technical University (MADI)
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64
Doctor of technical sciences
E-mail: 54081@mail.ru

Bukin Gleb Vladimirovich

Moscow Automobile and Road Transport State Technical University (MADI)
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64
Postgraduate student
E-mail: glebbukin@mail.ru

Yakubovich Irina Anatolievna

Moscow Automobile and Road Transport State Technical University (MADI)
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64
Doctor of technical sciences
E-mail: yakubovich_irina@mail.ru

Научная статья

УДК 330.115

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-35-44

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

ВЛИЯНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ОРГАНИЗАЦИИ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

***Аннотация.** В статье рассмотрены методы оценки экономической эффективности мероприятий по совершенствованию организации городских пассажирских автомобильных перевозок. Предложены аналитические зависимости для расчета экономического эффекта на основе параметров перевозочного процесса и рассмотрено их влияние на экономическую эффективность.*

***Ключевые слова:** пассажирские автоперевозки, эффективность, пассажиропотоки, управление городскими автоперевозками*

Введение

Городской пассажирский автотранспорт является основной жизнедеятельности современных городов. Более 80 % перевозок пассажиров в городах Российской Федерации совершается на автомобильном транспорте общего пользования. Основным видом общественного транспорта в городах России и зарубежных стран в настоящее время являются городской пассажирский автотранспорт разной вместимости. Этому способствуют важные преимущества городского пассажирского автомобильного транспорта по сравнению с другими видами городского пассажирского транспорта относительно высокая скорость сообщения, хорошая маневренность, незначительные затраты на организацию новых маршрутов, относительная комфортность поездок и т.д. Всё это способствует росту городских автомобильных перевозок. При этом учитывая ежегодный рост стоимости топлива, городского пассажирского автотранспорта, заработной платы водителей и т.д., основное внимание следует уделять не столько увеличению количества городского пассажирского автомобильного транспорта в городах сколько повышению эффективности его использования. В связи с этим проводимые исследования по совершенствованию организации городских пассажирских автомобильных перевозок, которые будут обеспечивать экономическую эффективность автотранспортного процесса являются весьма актуальными.

Материал и методы

Повышение эффективности деятельности городского пассажирского автомобильного транспорта является совершенствование организации и управления, которые предполагают разработку целей и задач, наличие объективной информации о состоянии рассматриваемой системы городских пассажирских автомобильных перевозок и действующих на неё внешних факторов, включая и особенности работы, а также взаимодействие с вышестоящими органами и смежными организациями [1]. Обработка и анализ этой информации, принятие инженерного решения и придание ему нормативной формы, выполнение решения и анализ обратной связи обеспечивают экономическую эффективность за счет вновь предлагаемого совершенствования организации городских пассажирских перевозок автомобильным транспортом.

Теория / Расчет

Городской пассажирской транспорт является практически убыточной отраслью по сравнению с другими отраслями народного хозяйства. Так, известно, что часть расходов на организацию пассажирских перевозок в городах осуществляется за счёт дотаций из местного и центрального бюджетов.

В виду того, что финансовые возможности в городах России являются несколько ограниченными, то вопросы совершенствования организации работы городского пассажирского транспорта являются актуальными. Обоснование экономической эффективности мероприятий по совершенствованию организации пассажирских перевозок в городах нуждается в разработках соответствующих мероприятий. В статье предлагается довольно простой метод расчета экономической эффективности мероприятий по совершенствованию организации работы городского пассажирского автотранспорта [2].

Так, важнейшей экономической характеристикой городского пассажирского автотранспорта являются себестоимость автоперевозок (C), которая может быть определена по зависимости.

$$C = \frac{S}{Q}, \quad (1)$$

где C – себестоимость перевозок, руб/пасс.км;

S – эксплуатационные расходы, руб;

Q – объём транспортной работы, пасс.км.

При этом, величину эксплуатационных расходов можно определить по зависимости.

$$S = C_e \cdot l + C_T \cdot t, \quad (2)$$

где C_e – переменные расходы отнесенные к 1 км пробега пассажирского автотранспорта, руб/км;

l – пробег пассажирского автотранспорта, км;

C_T – постоянные расходы отнесенные к 1 часу работы пассажирского транспорта, руб/ч;

$t = \frac{l}{V_3}$ – время работы пассажирского автотранспорта с учетом средней эксплуатационной скорости (V_3), которая может быть определена зависимостью [3].

$$V_3 = V_T \alpha, \quad (3)$$

где α – коэффициент использования скорости пассажирского автотранспорта.

Из (3) следует, что

$$\alpha = \frac{V_3}{V_T}, \quad 0 < \alpha \leq 1. \quad (4)$$

При этом $\alpha = 1$ только при экспрессном режиме движения пассажирского автотранспорта, а при $\alpha < 1$ при обычном (с остановками) режиме движения.

С учётом зависимости (3) равенство (2) представлено в виде

$$S = (C_e + \frac{t}{l} \cdot C_T) \cdot l = (C_e + \frac{C_T}{\alpha \cdot V_T}) \cdot l. \quad (5)$$

Объём транспортной работы (Q) в формуле (1) может быть представлен в следующем виде

$$Q = \sum_{i=1}^m Q_i \cdot l_i, \quad (6)$$

где Q_i – численность i -й группы пассажиров, пасс;

l_i – дальность поездки i -й группы пассажиров, км;

m – общее число обслуживаемых групп пассажиров.

С другой стороны величину (Q) можно определить по зависимости [4]:

$$Q = q \cdot N \cdot l_p \cdot \gamma, \quad (7)$$

где q – пассажировместимость автотранспорта, пасс;

N – общее количество пассажирского автотранспорта, занятых перевозкой пассажиров;

l_p – рабочий пробег пассажирского автотранспорта, км;

γ – динамический коэффициент использования пассажировместимости.

Из зависимости (7) следует

$$\gamma = \frac{Q}{q \cdot N \cdot l_p}, \quad 0 < \gamma \leq 1. \quad (8)$$

В зависимости (8) равенство ($\gamma = 1$) достигается при полном использовании пассажировместимости автотранспорта на маршруте.

Рабочий пробег (l_p) в формулах (7) и (8) может быть представлен в следующем виде.

$$l_p = l \cdot \beta, \quad (9)$$

где l – полный пробег пассажирского транспорта, км; β – коэффициент использования пробега.

Из зависимости (9) следует

$$\beta = \frac{l_p}{l}; \quad 0 < \beta \leq 1. \quad (10)$$

При этом равенство ($\beta=1$) в неравенстве (10) может быть достигнуто при отсутствии нулевого и холостого пробега пассажирского автотранспорта [5].

Формулу (7) с учётом выражения (9) запишем в виде

$$Q = q \cdot N \cdot l \cdot \beta \cdot \gamma. \quad (11)$$

Исходя из зависимости (11) производительность пассажирского автотранспорта будет иметь вид

$$W = \frac{Q}{t} = q \cdot N \cdot V_T \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma. \quad (12)$$

В выражении (12) величины параметров (q), (N) и (V_m) являются постоянными в условиях движения для заданных типов пассажирского автотранспорта не зависящими от способов организации пассажирских автоперевозок. Величины же (α), (β) и (γ) непосредственно зависят от организации перевозочного процесса автотранспортом на маршрутах улично-дорожной сети городов [6]. В связи с этим введем обозначения.

$$W_o = q \cdot N \cdot V_T; \quad (13)$$

$$\lambda = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma; \quad 0 < \lambda \leq 1. \quad (14)$$

В этом случае формула (12) примет следующий вид.

$$W = \lambda \cdot W_o. \quad (15)$$

Величина показателя (W_o) в формуле (15) является максимально возможной производительностью пассажирского автотранспорта в случае самой эффективной организации работы, когда $\lambda=1$. Величина показателя (λ) является комплексным показателем, характеризующим эффективность использования пассажирского автотранспорта при учёте степени использования скорости (α), пробега (β) и пассажировместимости (γ). Так как $0 < \alpha \leq 1$, $0 < \beta \leq 1$, $0 < \gamma \leq 1$, то и комплексный коэффициент (λ) согласно зависимости (14) будет $0 < \lambda \leq 1$. Поэтому комплексная оценка эффективности использования пассажирского автотранспорта при различных способах организации перевозочного процесса должна базироваться не на одном, пусть даже на таком важном показателе как коэффициент использования пассажировместимости (γ), а на комплексном показателе эффективности (λ), который интегрально учитывает все основные стороны перевозочного процесса [7]. Так, в данном случае, при ситуации уменьшения наполняемости пассажирского автотранспорта (коэффициента γ), может быть компенсация за счёт эффективного использования пробега (увеличение коэффициента β) или большей эксплуатационной скорости пассажирского автотранспорта (т.е. увеличение значения коэффициента α), что приведет к увеличению оборачиваемости пассажирского автотранспорта на маршрутах улично-дорожной сети городов. В связи с этим игнорированием таких факторов, как степень использования скорости (α) или пробега (β) может привести к ошибкам при оценке тех или иных мероприятий работы пассажирского автотранспорта на маршрутах улично-дорожной сети городов [8].

Количество пассажирского автотранспорта на маршрутах городов с учётом комплексного интегрального коэффициента (λ) может быть уточнено и определено из формулы (12).

$$N = \frac{Q}{q \cdot V_T \cdot \lambda},$$

то есть с увеличением коэффициента эффективности использования пассажирского автотранспорта (λ) величина показателя, характеризующего количество пассажирского автотранспорта (N) на маршрутах города уменьшается.

Далее рассмотрим зависимость себестоимости пассажирского автотранспорта (C) от показателей перевозочного процесса [9]. В формулу (1) подставим выражения (S) и (Q) исходя из формул (5) и (10) и получаем

$$C = \frac{C_e + \frac{C_T}{\alpha \cdot V_T}}{q \cdot N \cdot \beta \cdot \gamma} \quad (16)$$

В выражении (16) введем обозначение

$$\overline{C_T} = \frac{C_T}{\alpha \cdot V_T}, \quad (17)$$

где величина показателя ($\overline{C_m}$) представляет постоянные затраты, приведенные к 1 км пробега (руб/км). В этом случае формула (16) примет вид

$$C = \frac{C_e + \overline{C_T}}{q \cdot N \cdot \beta \cdot \gamma} = \frac{C_3}{q \cdot N \cdot \beta \cdot \gamma}, \quad (18)$$

где C_3 – себестоимость 1 км пробега, руб/км.

Величина показателей переменных расходов (C_e) определяется суммой затрат [10]:

$$C_e = C_{\text{ТОП}} + C_c + C_{\text{ш}} + C_{\text{ТОР}} + C_{\text{ав}} + C_{\text{акр}} + C_{\text{эк}}, \quad (19)$$

где в (C_e) приведены затраты: на топливо ($C_{\text{ТОП}}$); смазочные материалы (C_c); приведенные затраты на шины ($C_{\text{ш}}$); затраты на техническое обслуживание и ремонт ($C_{\text{ТОР}}$); затраты на восстановление подвижного состава ($C_{\text{ав}}$); приведенные амортизационные затраты на капитальный ремонт подвижного состава ($C_{\text{акр}}$); приведенные затраты на землю и экологию ($C_{\text{эк}}$).

Величина постоянных расходов (C_T) определяется суммой

$$C_T = C_{\text{зп}} + C_{\text{н}}, \quad (20)$$

где $C_{\text{зп}}$ – приведенная заработная плата водителей, руб/ч;

$C_{\text{н}}$ – приведенные накладные расходы, руб/ч.

Величина показателей (C_T) в зависимости (20) определяется на основе соответствующих ему значений по формуле (17). Величина же (C_e) в формуле (19), определяется как сумма всех затрат на основе соответствующих нормативов [11] с учетом происходящих изменений в ценах на материалы и на расценки на работы. Учитывая периодические значительные изменения в ценах на топливо и другие материалы, приводить абсолютные значения величин в приведенных формулах (16)÷(20) в настоящее время бессмысленно. Однако их соотношения в основном сохраняются. Это позволяет оценить значения отдельных составляющих параметров и степень их влияния на себестоимость 1 км пробега городского пассажирского автотранспорта. В таблице 1 в качестве примера приведено в процентах примерные соотношения составляющих себестоимости 1 км пробега городского пассажирского автотранспорта (автобус, ЛиАЗ-677) при обычном его режиме работы [4]. Определение составляющих себестоимости (C_3) в % для 1 км пробега автобуса, «ЛиАЗ-677» приведены в таблице 1.

Следует отметить, что основным показателем характеризующим мероприятия по совершенствованию организации городских пассажирских перевозок является величина экономического эффекта (R) при той или иной себестоимости перевозок пассажиров.

$$R = F_b - S_o, \quad (21)$$

где F_b – экономический эффект от организации перевозок определяемый действующим тарифом и правилам, тыс.руб/год;

S_o – эксплуатационные расходы по организации перевозок, определяемый по формуле (2), тыс.руб/год.

В случае если величина экономического эффекта в расчетах по формуле (21) является отрицательной, то целесообразно использовать повышение тарифа на проезд [12]. Основанием для этого является повышение себестоимости, ($C_3 = C_e + \overline{C_T}$) при повышении цен на топливо, смазочные материалы, шины, ТО и ТР, заработную плату работникам транспортной отрасли и т.д. Однако, при этом целесообразным является и предоставление пассажирам дополнительных удобств (повышение комфортности поездки за счет увеличения коэффициентов (γ), (α), (γ), что в целом повысит не только качество перевозок при повышении интегрального коэффициента (λ) по формуле (13), но и обеспечит повышение производительности пассажирских автоперевозок (W) согласно формулы (11).

Таблица 1 - Определение составляющих себестоимости (C_3) в % для 1 км пробега автобуса, «ЛиАЗ-677»

Составляющие себестоимости (C_3) в зависимости (18) согласно формул (19) и (20).	Доля в себестоимости (C_3) 1 км пробега в %.
$C_{тсп}$	18,4
C_c	1,0
$C_{ш}$	3,0
$C_{тор}$	7,0
$C_{ав}$	13,6
$C_{акр}$	15,0
$C_{эк}$	7,2
$C_{зп}$	27,1
C_n	7,7
Итого (C_3) в %	100,0

Экономический эффект показателя (F_B) зависит также от времени затраченного пассажирами на поездки (среднетехнической скорости автотранспорта на маршруте (V_m), организации дорожного движения (наличие светофоров и полосы движения для городского автотранспорта), использование автоматизированной системы управления АСУ-рейс и т.д.

Экономическая эффективность по введению мероприятий научно-технического прогресса по совершенствованию организации городских пассажирских автомобильных перевозок может быть определена по условиям использования этих мероприятий за расчетный период. Так как пассажиропотоки их направления и мощности изменяют в связи с ростом микрорайонов городов и ввода в эксплуатацию новых мест притяжения пассажиропотоков, то их необходимо проводить повторные обследования через каждый 3-4 года [13]. В этом случае и продолжительность расчетного периода может производиться через каждые 3-4 года. Экономический эффект (\mathcal{E}) за суммарный период по годам может быть рассчитан по зависимости.

$$\mathcal{E} = C_p - C_3, \quad (22)$$

где C_p - стоимостная оценка результатов осуществляющих мероприятия по совершенствованию организации городских пассажирских перевозок, руб;

C_3 - стоимостная оценка затрат на осуществление мероприятий за расчетный период времени, руб.

Расчет экономического эффекта (\mathcal{E}) производится с приведением разновременных затрат и результатов к единому моменту времени – расчетному году (t_p). В качестве расчетного года (t_p) принимается календарный год, предшествующий началу использования новой технологии совершенствованию организации городских пассажирских автоперевозок [14]. Приведение разновременных затрат и результатов всех лет рассматриваемого периода реализации мероприятий к расчетному году осуществляется путем умножения их величин за каждый год на коэффициент приведения (α_t), который определяется по следующей зависимости [5]:

$$\alpha_t = (1 + E_n)^{t_p - t}, \quad (23)$$

где E_n – норматив приведения разновременных затрат и результатов ($E_n=0,1$);

t – год, затраты и результаты которого приводятся в расчетном году (t_p).

Стоимостная оценка результатов внедрения и использования мероприятий по совершенствованию организации городских пассажирских автоперевозок определяется как сумма результатов этих мероприятий за каждый год расчетного периода.

$$C_p = \sum_{t=t_n}^{t_k} C_t \cdot \alpha_t, \quad (24)$$

где C_t – стоимостная оценка мероприятий в году (t), руб;

t_n – начальный год расчетного периода;

t_k – конечный год расчетного периода.

Стоимостная оценка результатов внедрения мероприятий (C_t) по совершенствованию городских пассажирских автоперевозок в году (t) соответствует дополнительной прибыли, получаемой за счет увеличения коэффициентов (α), (β), (γ) и как следствие увеличению интегрального коэффициента (α), (11) и (23), что приведет к улучшению качества перевозочно-

го процесса, оптимизации маршрутной сети, рационального использования типа подвижного состава в зависимости от пассажиропотока [15]. Это будет способствовать увеличению дополнительных посадочных мест при перевозках пассажиров.

$$C_t = \Delta l_t \cdot C_k + K_t \cdot C_{ot}, \quad (25)$$

где Δl_t – увеличение годового платного пробега, соответствующее увеличению коэффициента платного пробега (β) в году (t), км;

C_k – стоимость одного километра пробега пассажирского автотранспорта, руб;

K_t – дополнительное количество перевезенных пассажиров в году (t) за счет предположенных мероприятий на маршруте (l_t);

C_{ot} – стоимость дополнительно введенного посадочного места обусловленное совершенствованием организации перевозочного процесса.

Значение параметра (K_t) формируется за счет увеличения скорости сообщения и обрачиваемости городского пассажирского автотранспорта, приводящих к увеличению провозной возможности автотранспорта [16]. Все это возможно за счет предположенных мероприятий на маршруте (l_t) в году (t).

Величина (K_t) может быть определена по зависимости

$$K_t = \frac{\Delta l_t}{l_{cp}}, \quad (26)$$

где l_{cp} – средняя длина ездки пассажиров, км.

Увеличение коэффициента платного пробега (β) в году (t) за счет внедрения мероприятий по совершенствованию организации городских пассажирских перевозок определяется на основе отчетных данных работы пассажирских автопредприятий.

Стоимостная оценка затрат на внедрение и использование мероприятий определяется как сумма затрат на каждый год расчетного периода.

$$C_3 = \sum_{t=t_n}^{t_k} (C_{t3} + \overline{K}_t - C_\phi) \cdot \alpha_t, \quad (27)$$

где C_{t3} – текущие затраты при разработке и использовании мероприятий по совершенствованию организации автоперевозок в году (t), руб;

\overline{K}_t – единовременные затраты при разработке и использовании мероприятия в году (t), руб;

α_t – коэффициент приведения определяемый по зависимости (23);

C_ϕ – остаточная стоимость (ликвидационное сальдо) основных фондов, выбывающих в году (t), руб.

Разработка и использование мероприятий по совершенствованию организации городских пассажирских автоперевозок, как правило, не требует дополнительных текущих затрат (C_{t3}). Если же внедрение мероприятий не требует обновления основных фондов, то отсутствует и (C_ϕ). Использование новых мероприятий обычно не требует каких-либо единовременных затрат. Таким образом, затраты на осуществление мероприятий по совершенствованию организации городских пассажирских автоперевозок состоят, как правило, лишь из единовременных затрат на разработку этих мероприятий [17]. В этом случае затраты численно соответствуют общей стоимости по выполнению и разработке предлагаемых мероприятий по совершенствованию организации городских пассажирских автоперевозок.

Результаты

Таким образом рассмотрены мероприятия по совершенствованию организации городских пассажирских перевозок и определено непосредственное влияние отдельных параметров транспортного процесса на его эффективность. Предложен метод по расчету отраслевого экономического эффекта на основе показателей перевозочного процесса, а также определение себестоимости перевозок в системе городского пассажирского автомобильного транспорта.

Совершенствование транспортной работы (Q) городского пассажирского автотранспорта происходит за счет предлагаемых мероприятий по повышению коэффициентов

(α) , (β) и (γ) . Это следует из приведенного аналитического анализа (14) [18].

Значение величин (α) , (β) и (γ) также влияет и на себестоимость перевозок (C), определяемую с учетом переменных (C_e) и постоянных (C_r) затрат (18).

Зависимость (18) показывает взаимосвязь мероприятий по совершенствованию городских пассажирских автоперевозок с экономической эффективностью перевозочного процесса.

Обсуждение

Основная цель городского пассажирского автомобильного транспорта формулируется как полное удовлетворение потребностей в перевозках при минимальных издержках, обеспечивая при этом эффективность транспортного процесса. Цели таких перевозок математически можно представить в виде [6]:

$$Q \geq Q_n; \quad K_p \geq K_{pn}; \quad Z_{aT} + P_v \leq H, \quad (28)$$

где Q, Q_n – фактический и плановый объем транспортной работы согласно зависимости (1), пасс. км;

K_p, K_{pn} – фактический и плановый коэффициент регулярности движения;

Z_{aT} – издержки автотранспортных перевозок, руб;

P_v – внетранспортные издержки автоперевозок, руб;

H – нормативное значение автотранспортных издержек, руб.

Для того, чтобы выполнить условие целей (28) необходимо привести в соответствие цели пассажирских перевозок (Q) и цели технической эксплуатации пассажирского автотранспорта, а именно, количественные и качественные перевозки, а также экономическую цель при реализации городских пассажирских автоперевозок.

Для определения параметра характеризующего количественную сторону эффективности пассажирского автотранспорта рассмотрим через выполнение транспортной работы (Q), которая выполняется одним пассажирским транспортом в течение определенного планового периода времени.

$$Q = D_k \cdot q \cdot \gamma \cdot V_s \cdot K_p \cdot (T_n - T_o), \quad (29)$$

где D_k – календарные дни;

q – номинальная пассажировместимость пассажирского автотранспорта, пасс.;

γ – коэффициент использования пассажировместимости транспортного средства, см. зависимость (7);

V_s – средняя эксплуатационная скорость пассажирского автотранспорта, км/ч;

K_p – коэффициент регулярности движения пассажирского автотранспорта;

T_n – время в наряде, ч;

T_o – время затраченное пассажирским автотранспортом при «нулевом» пробеге, ч.

В процессе выполнения транспортной работы в силу ряда причин (условия эксплуатации и т.д.) запланированное время в наряде не всегда полностью реализуется, что приводит к снижению транспортной работы (Q). Для этого необходимо обеспечить выпуск на маршрут дорожной сети дополнительного пассажирского автотранспорта. Целесообразность оценивается по экономическому критерию.

Коэффициент регулярности движения пассажирского автотранспорта (K_p) на маршруте в формуле (29) является одним из основных показателей качества перевозок пассажиров. Он определяется как отношение фактически выполненных рейсов (N_{pf}) к их плановому количеству (N_{pn}) за тот же период времени, то есть ($K_p = N_{pf} / N_{pn}$).

Следует отметить, что коэффициент регулярности (K_p) движения пассажирского автотранспорта позволяет: оценить объективность и достоверность перевозки пассажиров; наметить мероприятия по улучшению качества пассажирских перевозок с учетом особенностей маршрута движения; оценить уровень организации работы службы перевозок.

Выражение ($V_s \cdot K_p \cdot (T_n - T_o)$) в формуле (29) при определении транспортной работы (Q) характеризует фактический пробег пассажирского автотранспорта. Учитывая, что 1 км пробега пассажирского автотранспорта можно пронормировать в стоимостном выражении,

что позволит сделать вывод о тесной связи объема транспортной работы (Q), регулярности движения и себестоимости перевозок пассажиров. С учетом этого затраты на перевозки за определенный период времени составит:

$$C_e = D_k \cdot q \cdot \gamma \cdot V_3 \cdot K_p \cdot (T_n - T_o) \cdot H_c, \quad (30)$$

где H_c – норматив затрат на перевозки пассажиров на 1 км пробега пассажирского автотранспорта, руб/км.

Полученные зависимости в статье связывают основные параметры перевозочного процесса, характеризуют его количественную, качественную и экономическую составляющие и должны быть использованы при планировании и организации городских пассажирских автоперевозках. Кроме этого, норматив затрат на перевозки (H_c) должен разрабатываться по маркам пассажирского автотранспорта, учитывать изменение технико-эксплуатационных свойств автотранспорта по мере увеличения пробега с начала эксплуатации и обязательно отражать объективно существующие особенности трассы маршрутов движения. Кроме всего вышесказанного необходимо обеспечить минимум издержек по осуществлению совершенствования организации городских пассажирских перевозок.

Выводы

Для того, чтобы определить степень влияния предложенных мероприятий по совершенствованию организации городских пассажирских перевозок на экономическую эффективность необходимо объективно детально рассматривать условия работы городского пассажирского автотранспорта на маршрутах улично-дорожной сети, используя дифференциальный подход при организации работы пассажирского автотранспорта. При этом необходимо определять эксплуатационные затраты и величину расчетного тарифа на перевозку пассажиров.

Основными параметрами по влиянию на совершенствование организации городских пассажирских перевозок являются коэффициенты (α), (β) и (γ) которые определяют комплексный коэффициент (λ) по зависимости (13). Стремление по увеличению (λ) приводит к повышению эффективности работы пассажирского автотранспорта, а также повышает качество перевозочного процесса.

Рассмотрены показатели эффективности перевозочного процесса и их связь с показателями эффективности технической эксплуатации городского пассажирского автомобильного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоношвили М.Е., Либерман С.Ю., Спирин И.В. Оптимизация городских автобусных перевозок // М.: Транспорт, 1985. 102 с.
2. Айзерман М.А. Выбор вариантов: основы теории. М.: Наука, 1990. 240 с.
3. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2000. 296 с.
4. Белокуров В.П., Мотузка Д.А., Белокуров С.В. Управление социально-экономической эффективностью // Автотранспортное предприятие. №5. 2011. С. 47-49.
5. Белокуров В.П., Белокуров С.В. Оптимизация многоцелевых транспортных задач при использовании алгоритма анализа и отсева на итерациях поиска решений // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. ВИНТИ РАН. №6. 2009. С. 2-4.
6. Белокуров В.П., Белокуров С.В., Скрыль С.В. Принятие решений для эффективного управления транспортными системами на основе ситуаций выбора // Транспорт: наука, техника, управление: Научный информационный сборник ВИНТИ РАН. №2. 2010. С. 6-10.
7. Петров А.И. Формирование результативности пассажирских автомобильных перевозок в условиях переменной внешней среды. Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. 152 с.
8. Петров В.В. Теория управления движением транспортных потоков в городах. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2020. 101 с.
9. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. М.: Сов. радио, 1980. 232 с.
10. Сысоев А.С., Ляпин С.А., Галкин А.В. Интеллектуальные методы управления транспортными системами. 3-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2023. 192 с.
11. Касаткин Ф.П., Коновалов С.И., Касаткина Э.Ф. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса. М.: Академический проект, 2004. 352 с.

12. Моделирование экологически рационального выбора типа городского пассажирского транспорта // Мир транспорта и технологических машин. №2-1 (85). 2024. С. 3-7.
13. Белокуров В.П., Е.А. Панявина, Э.Н. Бусарин, Р.А. Кораблев. Экономико-математические модели рационального развития городских пассажирских перевозок // Мир транспорта и технологических машин. №3-1 (86). 2024. С. 35-41.
14. Belokurov V., Belokurov S., Zolnikov V. Modeling passenger transportation processes using vehicles of various forms of ownership // Transportation Research Procedia. 2018. №36. P. 44-49.
15. Kaufmann A., Gupta M.M. Fuzzy mathematical models in engineering and management science. Amsterdam: North-Holland, 1998. P. 195.
16. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and optimization of flows on networks. Cetaro.: C.I.M.E., 2009. P. 150.
17. Belokurov S.V., Belokurov V.P., Zolnikov V.K., Cherkasov O.N. Methods of multi-criteria optimization in problems of simulation of trucking industry // Transportation research procedia. 2017. №20. P. 47-52.
18. Shen X., Yao X. Mathematical modeling and multiobjective evolutionary algorithms applied to dynamic flexible job shop scheduling problems // Information Sciences. 2015. Vol. 298. P. 198-224.

Белокуров Владимир Петрович

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

Панявина Екатерина Анатольевна

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

Кораблев Руслан Александрович

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

Бусарин Эдуард Николаевич

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

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

IMPACT OF MEASURES TO IMPROVE THE ORGANIZATION OF URBAN PASSENGER TRANSPORTATION ON ECONOMIC EFFICIENCY

***Abstract.** The article considers methods for assessing the economic efficiency of measures to improve the organization of urban passenger automobile transportation. Analytical dependencies are proposed for calculating the economic effect based on the parameters of the transportation process and their impact on economic efficiency is considered.*

***Keywords:** passenger road transport, efficiency, passenger flows, urban road transport management*

BIBLIOGRAPHY

1. Antonoshvili M.E., Liberman S.YU., Spirin I.V. Optimizatsiya gorodskikh avtobusnykh perevozok // M.: Transport, 1985. 102 s.
2. Ayzerman M.A. Vybor variantov: osnovy teorii. M.: Nauka, 1990. 240 s.
3. Larichev O.I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy. M.: Logos, 2000. 296 s.

4. Belokurov V.P., Motuzka D.A., Belokurov S.V. Upravlenie sotsial'no-ekonomicheskoy effektivno-st'yu // Avtotransportnoe predpriyatie. №5. 2011. S. 47-49.
5. Belokurov V.P., Belokurov S.V. Optimizatsiya mnogotselevykh transportnykh zadach pri ispol'zovanii algoritma analiza i otseva na iteratsiyakh poiska resheniy // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. VINITI RAN. №6. 2009. S. 2-4.
6. Belokurov V.P., Belokurov S.V., Skryl' S.V. Prinyatie resheniy dlya effektivnogo upravleniya transportny-mi sistemami na osnove situatsiy vybora // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie: Nauchnyy informatsionnyy sbornik VINITI RAN. №2. 2010. S. 6-10.
7. Petrov A.I. Formirovanie rezul'tativnosti passazhirskikh avtomobil'nykh perevozk v usloviyakh peremen-noy vneshney sredy. Tyumen': TyumGNGU, 2009. 152 s.
8. Petrov V.V. Teoriya upravleniya dvizheniem transportnykh potokov v gorodakh. Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil'no-dorozhnyy universitet (SibADI), 2020. 101 s.
9. Rastigin L.A. Sovremennye printsipy upravleniya slozhnymi ob"ektami. M.: Sov. radio, 1980. 232 s.
10. Sysoev A.S., Lyapin S.A., Galkin A.V. Intellektual'nye metody upravleniya transportnymi si-stemami. 3-e izd. M.: Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya "Dashkov i K", 2023. 192 s.
11. Kasatkin F.P., Kononov S.I., Kasatkina E.F. Organizatsiya perevozochnykh uslug i bezopasnost' transportnogo protsessa. M.: Akademicheskii proekt, 2004. 352 s.
12. Modelirovanie ekologicheskikh ratsional'nogo vybora tipa gorodskogo passazhirskogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. №2-1 (85). 2024. S. 3-7.
13. Belokurov V.P., E.A. Panyavina, E.N. Busarin, R.A. Korablev. Ekonomiko-matematicheskie modeli ratsional'nogo razvitiya gorodskikh passazhirskikh perevozk // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. №3-1 (86). 2024. S. 35-41.
14. Belokurov V., Belokurov S., Zolnikov V. Modeling passenger transportation processes using vehicles of various forms of ownership // Transportation Research Procedia. 2018. №36. P. 44-49.
15. Kaufmann A., Gupta M.M. Fuzzy mathematical models in engineering and management science. Amsterdam: North-Holland, 1998. P. 195.
16. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and op-timization of flows on networks. Cetaro.: C.I.M.E., 2009. P. 150.
17. Belokurov S.V., Belokurov V.P., Zolnikov V.K., Cherkasov O.N. Methods of multi-criteria optimization in problems of simulation of trucking industry // Transportation research procedia. 2017. №20. P. 47-52.
18. Shen X., Yao X. Mathematical modeling and multiobjective evolutionary algorithms applied to dynamic flexible job shop scheduling problems // Information Sciences. 2015. Vol. 298. P. 198-224.

Belokurov Vladimir Petrovich

Voronezh State Forest Engineering University
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazev str., 8
Doctor of Engineering Sciences
E-mail: opbd_vglta@mail.ru

Panyavina Ekaterina Anatolyevna

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

Korablev Ruslan Aleksandrovich

Voronezh State Forest Engineering University
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazev str., 8
Candidate of Agricultural Sciences
E-mail: korablev_ruslan@mail.ru

Busarin Eduard Nikolaevich

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

Научная статья

УДК 004.85

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-45-51

Д.Н. ПАВЛОВ, А.Н. СЕМКИН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКОВ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ

Аннотация. В статье авторами рассмотрены вопросы оптимизации графиков движения общественного транспорта в городских агломерациях Российской Федерации на примере Вологодской городской агломерации, проведен сравнительный анализ результатов различных моделей машинного обучения для оценки новых графиков движения, предложена методика подготовки и отбора данных для проведения обучения моделей.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, управление общественным транспортом, модели машинного обучения

Введение

В рамках мероприятий по внедрению интеллектуальных транспортных систем национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» с 2020 года в регионах России на целенаправленной основе согласно методическим рекомендациям Министерства транспорта [1] реализуется комплекс организационно-технических мероприятий по цифровой трансформации транспортной отрасли. В качестве инструментов достижения поставленных целей выбираются лучшие отечественные решения в области организации дорожного движения, управления и мониторинга распределенными объектами детектирования и распознавания транспортных средств. Среди очерченного круга решений все чаще встречаются программно-аппаратные комплексы, использующие методы и инструментарий сферы искусственного интеллекта. Бесспорным лидером по применению технологий машинного обучения, в частности глубокого машинного обучения, являются решения по распознаванию транспортных средств (ТС), их категоризации, распознаванию государственных регистрационных знаков, определению параметров движения ТС. Активно начинают применяться системы автоматического распознавания образов для создания цифровых двойников дорожных сетей и объектов транспортной инфраструктуры. Вместе с тем, в одном из старейших направлений интеллектуальных транспортных систем (ИТС) – сфере телематического мониторинга транспорта – использование технологий искусственного интеллекта практически незаметно. В то же время, огромный объем накопленных данных о перемещениях транспортных средств позволяет с уверенностью прогнозировать значительный потенциал повышения эффективности управления парками мобильных объектов при внедрении решений из сферы искусственного интеллекта (ИИ), в частности, для решения задачи поиска скрытых аномалий или закономерностей в данных, для разработки систем поддержки принятия решений на транспорте нового поколения и т.п.

Материал и методы

Ключевыми бенефициарами внедрения инструментария машинного обучения в системах телематики на транспорте выступают модули информационных систем, отвечающие за автоматизацию задач транспортного планирования и организации работы транспортного предприятия. В рамках статьи рассмотрим задачу из сферы транспортного планирования – оптимизация графика выпуска маршрутных транспортных средств. Актуальность данной задачи подтверждена работами [2-7].

Текущий подход к решению этой задачи сводиться к расчету расписания путем анализа плановых показателей по обслуживанию остановочных пунктов и новых данных по пассажиропотокам на маршруте. Причем фактические данные отклонений от расписания движения, зачастую не учитываются, как ввиду недоступности этих данных, в случае если планированием и обслуживанием занимаются разные организации, так и по причине сложности методологии корректировки на основе фактических данных [8].

В настоящей работе мы опишем один из возможных подходов использования исторических данных о движении ТС по маршруту при анализе нового расписания.

Целью проведённого нами исследования является разработка методологии оценки качества решения транспортной задачи по оптимизации графика движения городского пассажирского общественного транспорта (ГПОТ) в автоматических системах управления движением. Исследование проводилось с использованием данных информационной системы «Мультисервисная платформа совместного использования транспортных средств в городской среде «НАВИГАТОР-С2020» (разработчик ЗАО ГК «НАВИГАТОР», платформа включена в единый реестр отечественного программного обеспечения (запись в реестре №10530 от 17.05.2021) [9]. В качестве данных была получена статистика отклонения от расписания движения по троллейбусному маршруту №4 г. Вологды за период одна неделя.

Теория

В рамках работы решались следующие задачи:

- сбор и анализ статистики движения ТС в рамках конкретного маршрута за период времени;
- очистка и подготовка данных, формирование итогового дата-сета,
- выбор модели машинного обучения и обоснование выбора метрик качества модели,
- проведение обучения модели и обобщение результатов.

Целевой переменной для оценки качества расписания для нас является величина отклонения, то есть необходимо решить задачу регрессии – предсказание величины параметра по входным данным. Рассматриваемый показатель зависит, безусловно, от множества факторов, начиная от правильности расчета времени перегонов между остановочными пунктами, стилем вождения водителя, времени суток до загруженности дорог, погодных факторов, технического состояния ТС. Далеко не все исходные признаки (предикторы в терминах машинного обучения) нам доступны и могут быть использованы при построении модели. При этом, следует учитывать взаимную корреляции некоторых признаков, с целью уменьшения их совместного влияния на итоговую модель.

Исходными статистическими данными выступает отчет о посещении остановочных пунктов транспортными средствами, формируемый по каждому путевому листу, выписанному на ТС. Данные выгружаются из модуля мониторинга движения общественного транспорта ИТС городской агломерации, развёрнутой на основе платформы «НАВИГАТОР-С2020». Отчет содержит в себе следующие данные: номер путевого листа, дату и время фактического прибытия на остановку, величину отклонения фактического прибытия от планового по расписанию, заданное время прибытия по графику, служебную информацию о номере подмаршрута (№), название остановочного пункта (Зона), код остановочного пункта (описание). Пример отчета представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Отчет о посещении остановочных пунктов

Время по факту	Отклонение	по графику	№	Зона	Описание
14.11.2024 06:05:34	00:01:34	06:04:00	4 N>A:1; 4 N>A1:1	Псковская	220438907
14.11.2024 06:06:54	00:00:54	06:06:00	4 N>A:2; 4 N>A1:2	Костромская	220438853

В представленных данных для построения модели в итоге были отобраны следующие признаки:

- 1) рабочий или выходной день – категориальный признак, полученный путем извлечения из столбца «Время по факту» даты и преобразование её на основе рабочего календаря.

Данный признак безусловно является ключевым, так как сложившаяся практика формирования расписаний подразумевает наличие как минимум двух типов расписания для маршрута – рабочего и праздничного (выходного) дня;

2) время прибытия по графику – данные имеют слишком высокую дискретность, что может негативно сказаться на итоговых результатах, к тому же организация выпуска ТС на линию исторически имеет ярко выраженную интервальность, что привело нас к выводу о необходимости снижения размерности данного признака. В качестве оптимального периода был принят 15-минутный интервал, который приблизительно соответствует среднему времени движения ТС по анализируемому маршруту. Транспорт выходит на линию после 5 утра и работает фактически до полуночи, поэтому все интервалы были пронумерованы начиная с 0, соответствующего периоду 5:00:00 – 5:14:59, с шагом 15 минут. Разбитие времени на интервалы, которые имеют порядковые значения служит также еще одним аспектом влияния на итоговые показатели, так как увеличивает вес более поздних периодов в итоговых результатах;

3) код остановочного пункта – еще один категориальный признак, который требует детального рассмотрения: на первый взгляд идентификаторы остановочных пунктов вполне годятся после преобразования, например, методом кодирования категориальных признаков в виде одноточечного числового массива (OneHotEncoder) для использования при обучении модели. Однако, такой подход фактически приравнивает каждую остановку маршрута друг к другу и делает их одинаково-весомыми для модели, что не находит отражение в реальности. Вместе с тем, логично предположить, что величина отклонения растет по мере движения ТС по маршруту и обнуляется по достижению конечной точки за счет сокращения межрейсового интервала. Следовательно, величина отклонения зависит от порядка прохождения остановочных пунктов и необходимо кодировать остановочные пункты по порядку их расположения при выполнении прямого или обратного рейса. Благодаря тому, что коды остановочных пунктов для прямого и обратного направления не совпадают выделение нового категориального признака «Направление» не должно составить труда.

Так как расписания строятся для каждого маршрута отдельно, то и обучение модели мы проводили на примере одного маршрута, что не отменяет принципиальную возможность проведения обучения сразу на нескольких маршрутах или для всей маршрутной сети городской агломерации. Однако, по нашему мнению, подобный подход несет в себе как риски увеличения итоговой ошибки при построении прогноза, так и не отвечает реальным ситуациям сложившихся практик транспортного планирования, когда расписания для маршрутов оптимизируются точно, а не массово для всей городской агломерации.

Определившись с ключевыми предикторами для модели, на следующем этапе необходимо было избавиться от наличествующих в исходном наборе данных выбросов и пропусков, провести кодирование категориальных признаков.

Разведочный анализ данных проводился в IDE Jupiter Notebook с использованием подключаемых библиотек Pandas, NumPy, средств визуализации Seaborn и Matplotlib.pyplot. В результате преобразования датафрейма с исходными данными из колонки «Время прибытия по графику» была сформирован новый столбец «Интервал», для которой с целью избавления от выбросов была проведена оценка распределения данных. Для колонки интервал – единственным ограничением служит естественные границы суток, а точнее ограниченного нами интервала движения ТС с 5-00 и до 23-59.

Распределение данных из столбца «Отклонение» дает намного больше информации. Всего значений (строк в датафрейме) после очистки получено 5 981. Среднее значение по столбцу составило 8,50326 сек., стандартное отклонение – 417,862646 при минимальном значении – 3591 и максимальном значении 4738. При этом 25 % процентиль составляет - 134, медиана составляет - 24, 75 % процентиль составляет 90.

Не останавливаясь подробно на возможных причинах наличия выбросов в данных, отметим, однако, что сам факт их присутствия поставил перед нами вопрос о расчете границ нормы отклонений, превышение которых скорее всего свидетельствует о некорректных дан-

ных и требует очистки. Анализ распределения данных позволил очертить границы диапазона от -700 до 700 секунд, в который попадает свыше 95 % данных. (рис. 1 и 2).

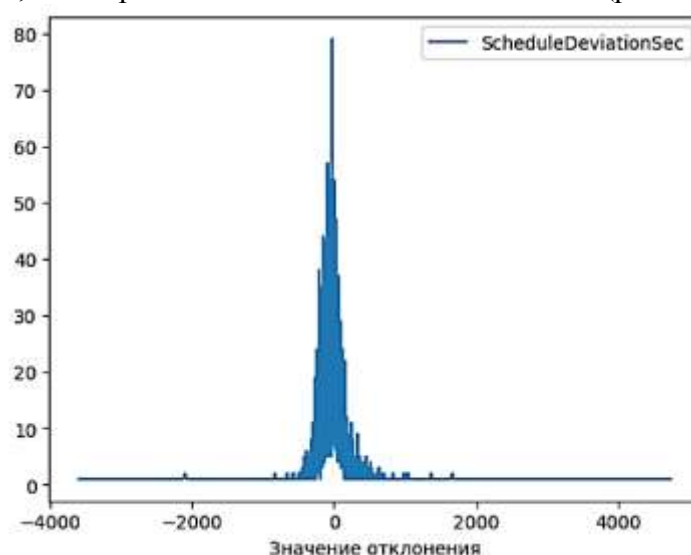


Рисунок 1 – Распределение значений величины отклонения

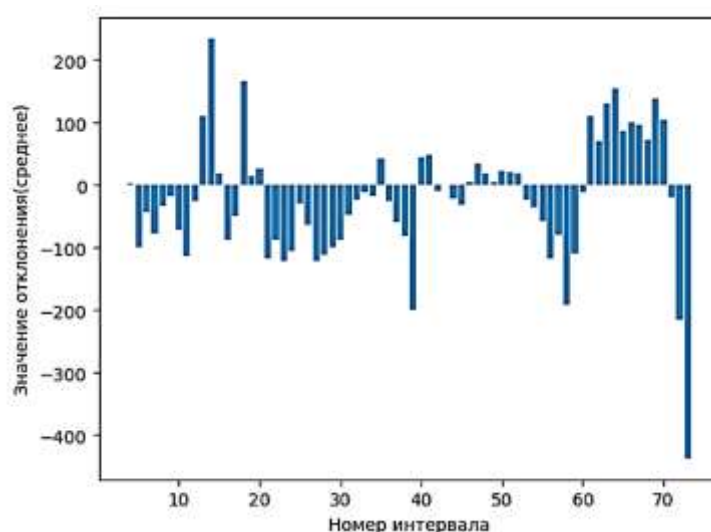


Рисунок 2 – Распределение значений средней величины отклонения по интервалам

Также, интересно отметить некоторые наблюдения колебаний значений отклонения в течение дня. (рис. 3). График колебания значения имеет сходство с графиком синуса с постепенным понижением в начальной фазе цикла, увеличением во второй части цикла и падением до нуля во время промежутка между циклами. Промежуток соответствует периоду обеда водителя ТС. Интерпретация периодов опоздания прибытия и опережения графика исходя из этого факта не составляет труда.

На следующем этапе использовался инструментарий пакета scikit-learn. Категориальные признаки были преобразованы при помощи метода OneHotEncoder модуля sklearn.preprocessing. По умолчанию OneHotEncoder преобразует данные в разреженную матрицу, чтобы не расходовать память на хранение многочисленных нулей. Однако в нашем случае размер данных не являлся существенно проблемой, поэтому мы использовали «плотное» представление.

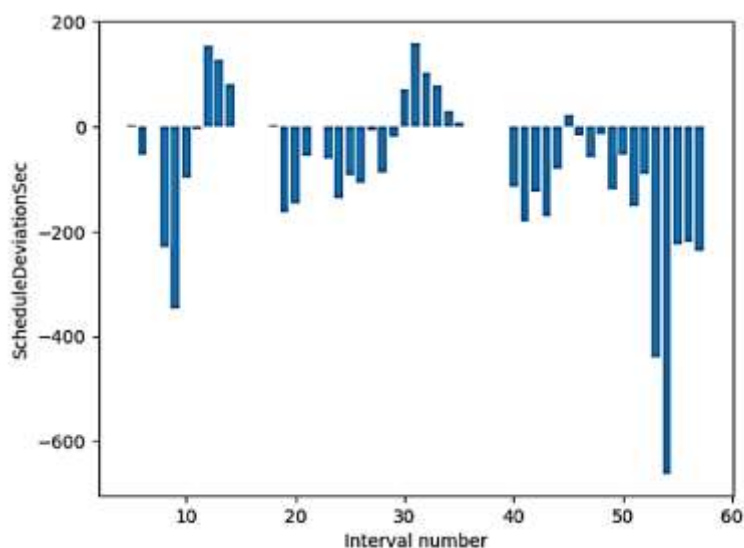


Рисунок 3 – Распределение значений средней величины отклонения по интервалам для одного ТС

Единицами целевой переменной (Отклонения) являются секунды, и было бы желательно иметь показатель погрешности, который также был в тех же единицах. Две метрики, наиболее часто используемые для количественной оценки соответствия модели набору данных, - это средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратическая ошибка (RMSE). Метрика MAE представляет среднюю абсолютную разницу между прогнозируемыми значениями и фактическими значениями в наборе данных. Чем ниже MAE, тем лучше модель соответствует набору данных. RMSE рассчитывается как квадратный корень из средней квадратичной разницы (MSE) между прогнозируемыми значениями и фактическими значениями в наборе данных. Чем ниже RMSE, тем лучше модель соответствует набору данных. Данные метрики рассчитываются в тех же единицах, что и целевая переменная, что соответствовало нашим требованиям [10].

Используемые метрики отражают величину типичной разницы между сделанным моделью прогнозируемым значением и фактическим значением, присутствующим в наборе данных. Вместе с тем, интерпретация каждой метрики немного отличается: RMSE более чувствителен к наблюдениям, которые далеки от среднего, то есть в отличие от MAE, RMSE больше наказывает за ошибки прогноза [11].

Перед началом обучения полученный дата-сет был разбиты на учебную и тестовую выборки в соотношении 7:3. В качестве моделей из библиотек scikit-learn Cat Boost были использованы RandomForestRegressor, ElasticNetCV, CatBoostRegressor, KerasRegressor. Параметры моделей были подобраны эмпирическим путем.

Результаты и обсуждение

В ходе работ были проведены несколько итераций обучения и отобраны варианты ML моделей с минимальными значениями целевых показателей. Полученные метрики представлены в таблице 2.

Показателя MAE, RMSE как для тренировочных данных, так и для данных тестирования довольно близки, что свидетельствует об отсутствии проблемы с переобучением.

Таким образом, полученные метрики MSE и RMSE позволяют говорить о возможности использования модели RandomForestRegressor для прогнозирования величины отклонения фактического времени прибытия транспортного средства от времени по расписанию.

Следовательно, оценка качества решения транспортной задачи по оптимизации графика движения может быть решена на основе сравнения величины отклонения, полученной с использованием обученной ML модели со значением отклонения по итогам работы согласно новому оптимизированному графику.

Таблица 2 – Полученные метрики

	ElasticNetCV	RandomForestRegressor	CatBoostRegressor	KerasRegressor
MAE train/test	132.59967933367793 131.20790638746956	97.92297810690772 113.5050483960079	110.68162881704006 114.02096907328172	Оценка не проводилась
RMSE train/test	177.83812202720767 173.97592338849404	132.9768191055366 150.3786619008372	148.1103850401529 150.90308534751352	186.74381949934
R ²	0.0957202143123926	0.49440243248544613	0.3727739062016978	Оценка не проводилась

Выводы

В качестве дальнейшего развития исследований нами рассматривается проведение сравнительных тестов различных ML моделей на большем количестве данных и маршрутов, сравнение их с результатами применения инструментария глубокого машинного обучения, выявления наиболее эффективных приемов для решения задач планирования и оптимизации при управлении в системах мониторинга городского пассажирского общественного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Методических рекомендаций по разработке заявок (включая локальные проекты по созданию и модернизации интеллектуальных транспортных систем) субъектов Российской Федерации на получение субсидий из федерального бюджета бюджетами субъектов Российской Федерации в целях реализации мероприятия «Внедрены интеллектуальные транспортные системы, предусматривающие автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»: Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 27 апреля 2024 г. № АК-95-р
2. Володина Ю.И., Затонский А.В. Системный анализ критериев эффективности городского общественного транспорта // Новый университет. Серия: технические науки. Йошкар-Ола: ООО «Коллеквиум». 2015. №7-8. С. 10-15.
3. Березина А.С., Корягин М.Е. Оптимизация маршрутной транспортной сети на примере города Кемерово // Политранспортные системы. Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения. 2017. С. 288-291.
4. Корягин М.Е. Теоретические аспекты оптимизации управления движением городского транспорта // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. №1. С. 125-131.
5. Крушель Е.Г., Панфилов А.Э., Степанченко И.В., Беришева Е.Д. Модель функционирования общественного транспорта города // Прогресс транспортных средств и систем - 2009. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет. 2009. С. 135-136.
6. Сафронов Э.А., Сафронов К.Э. Оптимизация городской маршрутной сети // Вестник СибАДИ. 2014. №4(38). С. 39-43.
7. Лютая Т.П., Заставной М.И., Кузнецова Е.С., Живолуп А.А. Обзор моделей и методов оптимизации работы системы транспортного обслуживания населения // Вестник науки и образования. 2018. №18-1 (54). С.36-40.
8. Кочегурова Е.А., Мартынова Ю.А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений // Известия ТПУ. 2013. №5. С.79-84.
9. ЗАО ГК НАВИГАТОР. Интеллектуальный актив [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nvg-group.ru/intellectual-asset/>.
10. Светушков И.И. Оценка качества прогнозных моделей [Электронный ресурс]. URL: https://forecasting.svetunkov.ru/etextbook/forecasting_toolbox/models_quality/.
11. Дьяконов А.Г. Анализ малых данных [Электронный ресурс]. URL: https://alexanderdyakonov.files.wordpress.com/2018/10/book_08_metrics_12_blog1.pdf.
12. Петров А.И. Формирование результативности пассажирских автомобильных перевозок в условиях переменной внешней среды. Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. 152 с.
13. Петров В.В. Теория управления движением транспортных потоков в городах. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2020. 101 с.
14. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. М.: Сов. радио, 1980. 232 с.
15. Капский Д.В. Методология повышения качества дорожного движения. Минск: БНТУ, 2018. 370 с.

Павлов Дмитрий Николаевич

ЗАО ГК «НАВИГАТОР»

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

Руководитель департамента проектов

E-mail: dnp@ntcnvg.ru

Семкин Александр Николаевич

ЗАО ГК «НАВИГАТОР»

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

Генеральный директор

E-mail: nvg@ntcnvg.ru

D.N. PAVLOV, A.N. SEMKIN

AN ASSESMENT OF TIME-SCHEDULES WITH ML MODELS IN PUBLIC TRANSPORT FLEET MANAGEMENT SYSTEMS

Abstract. The study researches the optimization problems of public transport time-schedules in urban agglomerations of Russian Federation in particular in Vologda region. The author performs the comparative analyses of various ML models' results and offer a method of data extraction and processing for models' learning.

Keywords: intelligent transport systems, public transport management, ML models

BIBLIOGRAPHY

1. Ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendatsiy po razrabotke zayavok (vkluychaya lokal'nye proekty po sozdaniyu i modernizatsii intellektual'nykh transportnykh sistem) sub"ektov Rossiyskoy Federatsii na poluchenie sub-sidiy iz federal'nogo byudzheta byudzheta sub"ektov Rossiyskoy Federatsii v tselyakh realizatsii meropriyatiya «Vnedreny intellektual'nye transportnye sistemy, predusmatrivayushchie avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vkluychayushchikh goroda s naseleniem svyshe 300 tysyach chelovek» v ramkakh federal'nogo proekta «Obshchesistemnye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva» gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii «Razvitie transportnoy sistemy»: Rasporyazhenie Ministerstva transporta Rossiyskoy Federatsii ot 27 aprelya 2024 g. № AK-95-r
2. Volodina YU.I., Zatonitskiy A.V. Sistemnyy analiz kriteriev effektivnosti gorodskogo obshchestvennogo transporta // Novyy universitet. Seriya: tekhnicheskie nauki. Yoshkar-Ola: OOO «Kollokvium». 2015. №7-8. S. 10-15.
3. Berezina A.S., Koryagin M.E. Optimizatsiya marshrutnoy transportnoy seti na primere goroda Kemerovo // Politransportnye sistemy. Novosibirsk: Sibirskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya. 2017. S. 288-291.
4. Koryagin M.E. Teoreticheskie aspekty optimizatsii upravleniya dvizheniem gorodskogo transporta // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2012. №1. S. 125-131.
5. Krushel' E.G., Panfilov A.E., Stepanchenko I.V., Berisheva E.D. Model' funktsionirovaniya obshchestvennogo transporta goroda // Progress transportnykh sredstv i sistem - 2009. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2009. S. 135-136.
6. Safronov E.A., Safronov K.E. Optimizatsiya gorodskoy marshrutnoy seti // Vestnik SibADI. 2014. №4(38). S. 39-43.
7. Lyutaya T.P., Zastavnoy M.I., Kuznetsova E.S., ZHivolup A.A. Obzor modeley i metodov optimizatsii raboty sistemy transportnogo obsluzhivaniya naseleniya // Vestnik nauki i obrazovaniya. 2018. №18-1 (54). S.36-40.
8. Kochegurova E.A., Martynova YU.A. Optimizatsiya sostavleniya marshrutov obshchestvennogo transporta pri sozdanii avtomatizirovannoy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy // Izvestiya TPU. 2013. №5. C.79-84.
9. ZAO GK NAVIGATOR. Intellektual'nyy aktiv [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.nvg-group.ru/intellectual-asset/>.
10. Svetun'kov I.I. Otsenka kachestva prognoznykh modeley [Elektronnyy resurs]. URL: https://forecasting.svetunkov.ru/etextbook/forecasting_toolbox/models_quality/.
11. D'yakov A.G. Analiz malykh dannykh [Elektronnyy resurs]. URL: https://alexanderdyakov.files.wordpress.com/2018/10/book_08_metrics_12_blog1.pdf.
12. Petrov A.I. Formirovanie rezul'tativnosti passazhirskikh avtomobil'nykh perevozok v usloviyakh peremennoy vneshney sredy. Tyumen': TyumGNGU, 2009. 152 s.
13. Petrov V.V. Teoriya upravleniya dvizheniem transportnykh potokov v gorodakh. Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil'no-dorozhnyy universitet (SibADI), 2020. 101 s.
14. Rastrigin L.A. Sovremennye printsipy upravleniya slozhnymi ob"ektami. M.: Sov. radio, 1980. 232 s.
15. Kapskiy D.V. Metodologiya povysheniya kachestva dorozhnogo dvizheniya. Minsk: BNTU, 2018. 370 s.

Pavlov Dmitriy Nikolayevich

NAVIGATOR Group of Companies

Address: 302006, Russia, Orel, Moskovskaya str., 155

Head of project department

E-mail: dnp@ntcnvg.ru

Semkin Aleksandr Nikolayevich

NAVIGATOR Group of Companies

Address: 302006, Russia, Orel, Moskovskaya str., 155

CEO

E-mail: nvg@ntcnvg.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-52-59

ЛЮ ЮЙВЭЙ, Д.В. КАПСКИЙ, С.А. ЛЯПИН, Д.С. САРАЖИНСКИЙ

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ МАРШРУТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОФОРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения безопасности движения трамвая как одного из перспективных видов городского пассажирского транспорта. Проанализированы причины ДТП с участием трамвая в г. Минске. Предложены мероприятия по снижению количества ДТП с участием трамвая. Отмечено, что значительная часть аварий с участием трамвая на перекрёстках неразрывно связана с превышением скорости одного из участников конфликта. Рекомендованы мероприятия для снижения аварийности между трамваем и автомобилем в г. Минске. Предложена стратегия организации светофорного регулирования с адаптивным управлением на участке дорожной сети с трамвайным движением.

Ключевые слова: безопасность движения, трамвай, ДТП, светофорный объект, дорога адаптивное управление, светофорное регулирование, инфраструктура, скорость движения, аварийность

Введение

Постоянный рост количества автомобилей на улицах современных городов увеличивает нагрузку на транспортную инфраструктуру и окружающую среду. Пробки на дорогах, загрязнение окружающей среды и аварии - ключевые проблемы, требующие немедленных решений. Традиционные системы управления дорожным движением, основанные на заранее запрограммированных сигналах и ручном вмешательстве, больше не могут эффективно справляться с вызовами современной городской мобильности. Решение проблемы видится в применении адаптивных систем управления дорожным движением и более прогрессивных транспортных средств [1].

Трамвай - это один из старейших, и проверенных временем, видов городского общественного электротранспорта. Учитывая, что в последнее время развитию этого вида общественного транспорта уделяется большое внимание, очевидно скоро будут реализованы совершенно фантастические предложения по замене рельсов обычной разметкой по которой искусственный интеллект будет вести трамваи на резиновом ходу [6]. Поэтому, многие ученые считают трамвай транспортом будущего отмечая следующие важные для города преимущества: большинство трамваев бесшумные; рельсы помогают трамваю ездить всегда в одном и том же габарите и ему не нужны буферные зоны, что даёт больше пространства для общественных зон, особенно если трамвайные рельсы установлены вровень с пешеходной дорожкой; трамвай самый экологичный вид транспорта (чище только велосипед); трамвай никогда не встанет в «пробку» и может остановиться только, если возникнет внешняя помеха на трамвайных путях или в результате аварии с автомобилем; для того, чтобы сесть в трамвай нет необходимости куда-то спускаться или подниматься (как в метро) (поэтому современные трамваи (без лестниц внутри) идеальный транспорт для маломобильных граждан) [3].

Повышение безопасности движения трамвая как маршрутного пассажирского транспорта путём организации дорожного движения (в том числе с помощью интеллектуального управления движением) для обеспечения его приоритетности обеспечит снижение дорожно-транспортной аварийности при минимальных затратах на реализацию [2].

Материал и методы

Аварийность – одна из самых актуальных проблем в организации дорожного движения.

Особенно болезненной она является при ДТП с участием трамвая [5]. По состоянию на апрель 2023 г., по данным УП «Минсктранс», в Минске осуществляется движение по 8 трамвайным маршрутам. За 2021 год произошло 255 аварии с участием трамвая и нерельсовых транспортных средств, что вызвало значительные социально-экономические потери, а с ростом уровня автомобилизации такие потери от аварийности будут неуклонно возрастать. Поэтому борьба с аварийностью является задачей государственной важности, задачей общенационального масштаба [4].

В настоящее время применяется несколько стратегий по снижению аварийности между легкорельсовым транспортом (под таким термином понимается трамвай) и нерельсовым транспортом [6]. Рассмотрим кратко их.

Ограничение скорости движения: в таком подходе снижается аварийность и повышается безопасность, но это критично влияет на скорость сообщения трамваев или автомобилей.

Разведение по уровням: трамваи разведены по уровням с дорожным транспортом и пешеходами. Все транспортные потоки, участвующие в таком движении, будут хорошо защищены и безопасны. Однако стоимость строительства и необходимое время строительства часто приводят к неэффективности.

Разведение в пространстве: постройка отдельного трамвайного полотна несвязанного с основной проезжей частью – это полностью убирает конфликт, и как следствие исключается возможность аварийности между трамваем и нерельсовыми транспортными средствами. Но такой вариант является дорогостоящим в реализации и не всегда возможным в строительстве из-за особенностей района в котором планируется его расположение.

Звуковые и визуальные предупреждающие сигналы: среди звуковых и визуальных предупреждающих знаков самым простым, наиболее распространённым и наименее затратным является установка звонков и мигающих огней на конфликтом направлении, чтобы предупредить транспорт и пешеходов о приближающемся трамвае. Такой вариант имеет право быть, но он все же не устраняет физический конфликт, что может в частности вести к авариям с последующем сбоем в трамвайном движении [11]. Одним из путей решения такой проблемы является внедрение светофорного регулирования для конфликтных направлений, участвующих в дорожном движении.

Разведение по времени с помощью светофорного регулирования: ещё один способ контролировать пересечение трамвайного полотна нерельсовыми транспортными средствами - это использование светофорного регулирования, где трамвай рассматривается как обычное транспортное средство пересекающее перекрёсток и подчиняющееся сигналам светофора. Однако и такой вариант может иметь свои недостатки, например, ухудшать экологию или увеличивать число задержек и остановок.

Исключение конфликта за счет запрета движения: при таком варианте полностью исключается аварийность, но у него есть свои недостатки, например, ухудшение экономических показателей проезда перекрестка (увеличение интенсивности машин на следующих перекрестках, перепробег транспортных средств, иногда полная невозможность проехать к нужному пункту назначения).

Проанализировав вышесказанное можно предположить, что вариант использования светофорного регулирования (разведения по времени) является потенциально наиболее перспективным, так как остальные варианты являются, либо слишком дорогостоящими в реализации, либо не учитывают особенности дорожно-транспортную ситуацию [12]. Поэтому далее в работе предполагается рассмотрение именно этого варианта, как наиболее перспективного.

Как показывает статистика, около 17 % процентов от общего количества ДТП с участием трамвая происходит по вине водителя трамвая, а остальная часть приходится на вину водителя нерельсового транспортного средства. Проблема аварийности на перекрестках с участием трамвая и поворотных нерельсовых транспортных средств является актуальной и насущной для г. Минска. На такие конфликты приходится около 50 % аварий от общего количества всех аварий между трамваями и нерельсовыми транспортными средствами (рис. 1).



Рисунок 1 – Распределение ДТП с участием трамвая по виду аварий на перекрестках г. Минска (по данным Трамвайного депо)

Выявлено, что значительная часть аварий на перекрестках неразрывна связана с превышением скорости одного из участников конфликта. Таким образом, автомобиль, приближающийся к перекрестку с высокой скоростью, увеличивает риск ДТП между трамваем и автомобилем. Традиционно в г. Минске часто используется ограничение скорости как автомобилей так и трамвая. Однако, как видится, такая мера не является удачной, так как это приводит к снижению скорости сообщения и нарушается принцип устойчивой мобильности. Ограничение скорости трамвая на некоторых участках может очень критично сказаться на скорости пассажирского сообщения, так как в некоторых районах города Минска люди чаще используют трамвай, в качестве альтернативы метро, например микрорайон Серебрянка [13].

Также среди используемых подходов для снижения аварийности между трамваем и автомобилем кроме этой стратегии применяются:

- закрытие конфликтующего поворотного направления (перекресток ул. Якуба Колоса и ул. Калинина);
- разведение конфликта путем светофорного регулирования по фиксированной диаграмме (пересечение Логойского тракта с улицей Калиновского). Однако, данный метод имеет свои минусы и требует доработки, например, путем использования алгоритма адаптивного управления (на данный момент на трамвайной сети г. Минска системы адаптивного управления с помощью интеллектуального управления дорожным движением не используются);
- разведения конфликтующих направлений в пространстве (пересечение ул. Плеханова с ул. Корицкого).

Приведенные методы хоть и снижают аварийность между трамваями и колесными транспортными средствами, но полностью решить проблему не позволяют (рис. 3). При этом они могут быть экономически не эффективны, ухудшая экономические и экологические показатели.

Теория / Расчет

Применение адаптивного управления в интеллектуальной транспортной системе (ИТС) городов становится одним из перспективных направлений в улучшении организации дорожного движения. Согласно ПНСТ 894-2023 «адаптивное управление светофорным объектом (adaptive traffic signal control): Процесс изменения элементов светофорного цикла (длительность цикла и фаз регулирования, последовательность фаз регулирования, временной сдвиг систем координации), выполняемый на основании показаний детекторов, запросов от кнопок пешеходного вызывного табло, запросов от подключенных транспортных средств, а также иных источников данных о транспортных потоках» [14]. Адаптивные системы, представляющие собой комплекс технических средств, реализующий определенные технологиче-

ские алгоритмы управления транспортными потоками, управляют светофорными объектами с учетом складывающейся ситуации на перекрестке или дороге. При этом процесс оптимизации совместной работы светофоров в ИТС усложняется вследствие необходимости учитывать то, что управлять нужно системой светофорных объектов, расположенных сразу на нескольких перекрестках, расположенных на различных расстояниях друг от друга, иначе эффективность системы может быть полностью или частично потеряна [8].

Предлагается стратегия организации светофорного регулирования с адаптивным управлением на участке дорожной сети с трамвайным движением от пересечения улицы Плеханова и улицы Васнецова, до пересечения улицы Плеханова и улицы Народная в г. Минске. Исследуемый вариант выступает в качестве альтернативы варианту стратегии по снижению аварийности между трамваем и нерельсовым транспортным средством за счёт светофорного регулирования с фиксированным управлением [7]. В предлагаемой стратегии оценка задержек и остановок производилась с помощью свободной системы имитационного моделирования (микромоделирования) «SUMO» («Моделирования городской мобильности»), имеющейся на кафедре «Транспортные системы и технологии» автотракторного факультета Белорусского национального технического университета [15].

На первом этапе для исследуемого участка была разработана схема светофорного регулирования правого поворота с фиксированной диаграммой, а именно, на перекрёстке улицы Плеханова и улицы Тухачевского (далее – СФО-2) предложено запретить левый поворот со входа А (вход со стороны улицы Васнецова) и добавить дополнительную фазу с выделением отдельного сигнала для поворачивающих со входа С (вход со стороны улицы Корицкого) транспортных средств путем установки дополнительной секции светофора (рис. 2, 3).

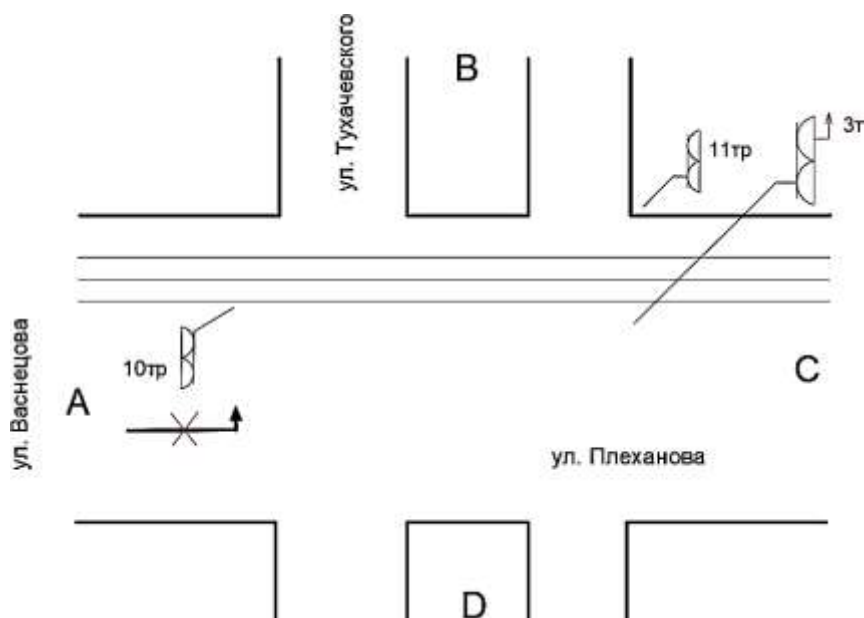


Рисунок 2 – Схема расстановки светофоров на СФО-2

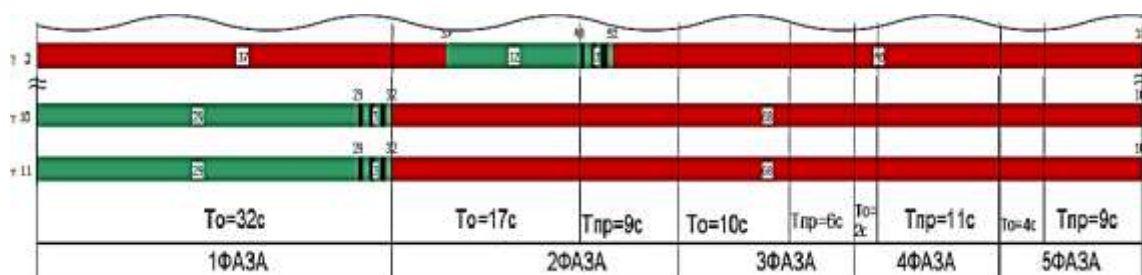


Рисунок 3 – Фрагмент предлагаемой диаграммы для трамвайных и правоповоротного направлений (вариант фиксированного управления)

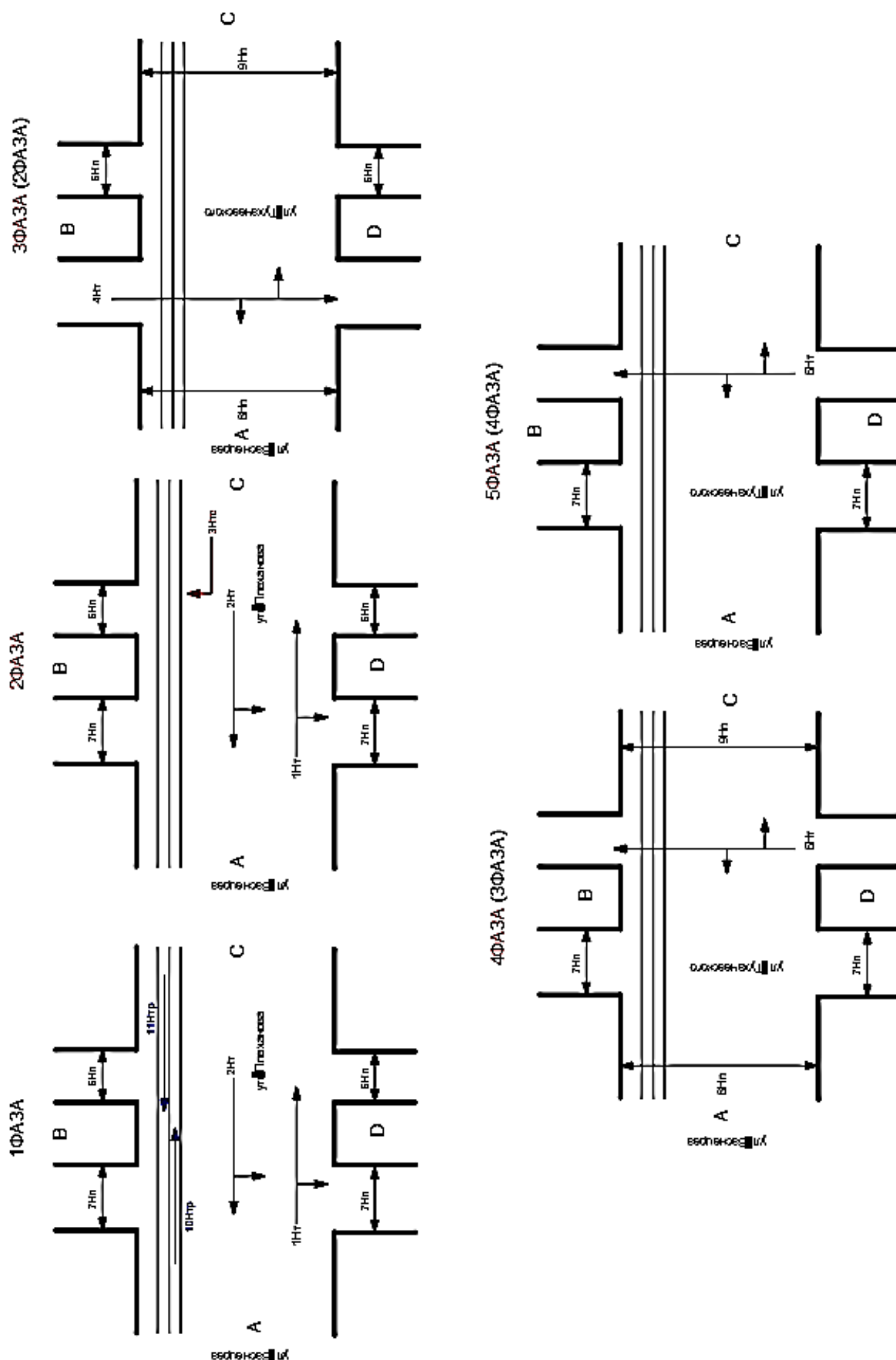


Рисунок 4 – Предлагаемая схема пофазного разъезда на СФО-2

На втором этапе, для повышения эффективности такого подхода, схема с фиксированным управлением была модифицирована за счет добавления адаптивного регулирования: был выбран вариант гибкого регулирования по принципу «actuated control» [10].

Результаты и обсуждение

При таком подходе изначально предполагается рассмотрение базовой диаграммы – диаграммы, когда предположительно по всем направлениям есть запрос на обслуживание (рис. 5, 6), если же запроса нет ни на одном из трамвайных направлений, то зарезервированное время сокращается и передается другому направлению (вариант actuated control с передачей неиспользуемого времени).

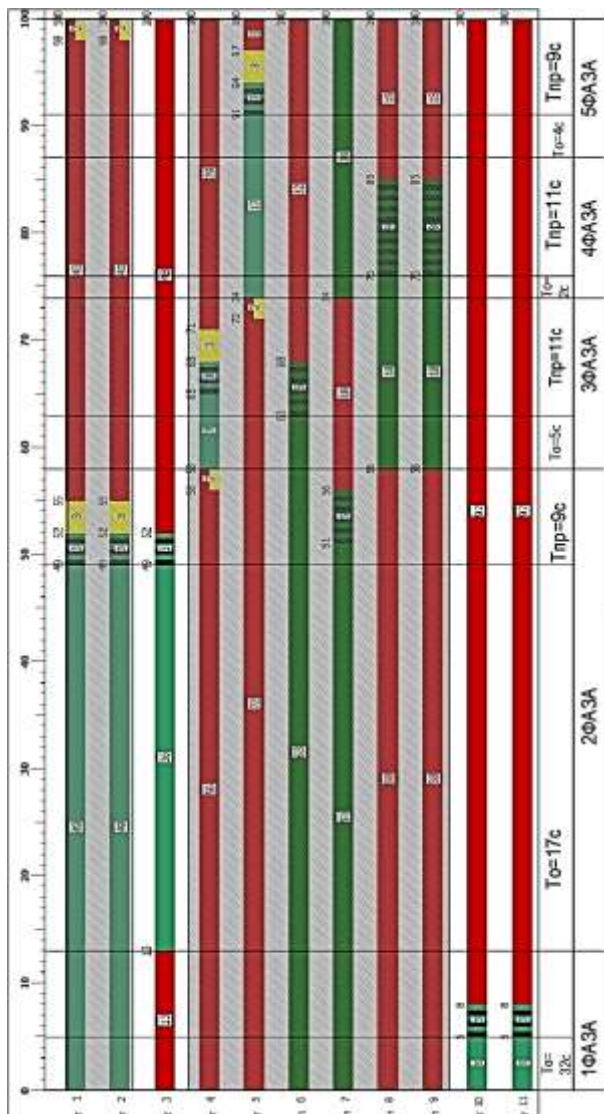


Рисунок 5 – Диаграмма светофорного регулирования с максимальной длительностью разрешающего движение сигнала для правоповоротного направления (3т)

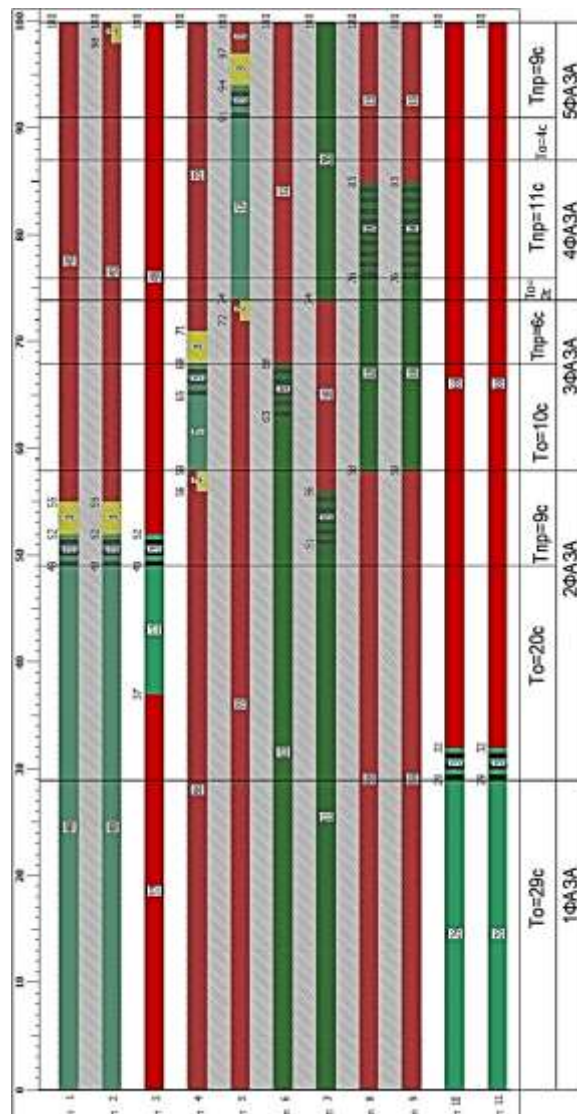


Рисунок 6 – Диаграмма светофорного регулирования с максимальной длительностью разрешающего движение сигналов для трамвайных направлений (10т, 11т)

Применяя вышеизложенный подход, для предотвращения заторов на рассматриваемом перекрестке, по варианту правоповоротного конфликтного направления, на прохождение поворота при разрешающем сигнале семью автомобилями потребуется около 15 секунд.

Выводы

Снизить число ДТП с участием трамвая и оптимизировать интенсивность транспортных потоков возможно как организационными методами так и применением адаптационного управления светофорными объектами на перекрестках используя стратегию разведения конфликтующих направлений с помощью светофорного регулирования.

Эффективность применения адаптивных алгоритмов управления светофорными объектами перекрестков по сравнению с жестким алгоритмом для снижения средней задержки транспортных средств по мере увеличения интенсивности движения транспортных потоков увеличивается.

Анализ показывает, что мероприятия по управлению дорожным движением в крупных городах с помощью адаптивного алгоритма улучшают городскую логистику. Это достигается за счет снижения количества пробок, уменьшения вредных выбросов и экономии на эксплуатации транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Врубель Ю.А., Капский Д.В., Кот Е.Н. Определение потерь в дорожном движении: монография. Мн.: БИТУ, 2006. 240 с.
2. Капский Д.В. Методология повышения качества дорожного движения. Минск: БНТУ, 2018. 370 с.
3. Устойчивая городская мобильность: теория и практика развития / А.О. Лобашов, Е.Н. Кот, Д.В. Капский [и др.]. Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 236 с. EDN ADEWPO.
4. Синергия подходов к совершенствованию интеллектуальных транспортных систем городов в России и Белоруссии / И. Н. Пугачев, Д. В. Капский, Д. В. Навой [и др.]. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2020. 230 с. EDN YDRMXN.
5. Капский Д.В., Кот Е.Н., Семченков С.С. Сравнение возможностей использования троллейбусов и электробусов для перевозок пассажиров в городах // Автомобиле- и тракторостроение: Материалы конф. Минск: БНТУ, 2019. Т. 2. С. 210-214.
6. Капский Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении: монография. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2008. 243 с. EDN VRTZHK.
7. Автоматизированные системы управления дорожным движением: Учебное пособие для учреждений высшего образования по специальности "Организация дорожного движения" / Д.В. Капский, Ю.А. Врубель, Д.В. Навой [и др.]. Минск; Москва: Издательский Дом "Инфра-М", 2015. 367 с. EDN YWURBB.
8. Основы автоматизации интеллектуальных транспортных систем: Учебник / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, С.В. Богданович [и др.]. Вологда: ООО «Издательство «Инфра-Инженерия», 2022. 412 с. EDN KVMHNS.
9. Координированное управление дорожным движением: Монография / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Д.В. Рожанский [и др.]. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2011. 230 с. EDN TLBBOV.
10. Скирковский С.В., Капский Д.В., Навой Д.В. Теоретические и практические подходы к созданию и развитию интеллектуальной транспортной системы города. Гомель: Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», 2022. 171 с. EDN PXKPAX.
11. Guidelines for Traffic Signals RILSA // Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln. 2003. 152 с.
12. Petridou E., Moustaki M. Human factors in the causation of road traffic crashes/ European Journal of Epidemiology: сетевой журнал [Электронный ресурс] / 2000. URL: <https://doi.org/10.1023/a:1007649804201>.
13. Чванов В.В. Методы оценки и повышения безопасности дорожного движения с учетом условий работы водителя. М.: ИНФРА-М, 2010. 416 с.
14. Богданович С.В., Чернюк А.Н. Направления развития подходов к обеспечению безопасности дорожного движения в Республике Беларусь // Ensuring traffic safety in the Fergana valley: problems and solutions: Materials of the International Conference. Part 1. Namangan: NECI. 2024. P. 465469.
15. Aliane N. et al. Traffic violation alert and management [Электронный ресурс] / IEEE Xplore. 2001. URL: <https://doi.org/10.1109/itsc.2011.6082811>.

Лю Юйвэй

Белорусский национальный технический университет
Адрес: 220013, Беларусь, г. Минск,
пр-т Независимости, 65
Аспирант
E-mail: 1277794415@qq.com

Капский Денис Васильевич

Белорусский национальный технический университет
Адрес: 220013, Беларусь, г. Минск,
пр-т Независимости, 65
Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Транспортные системы и технологии»
E-mail: d.kapsky@gmail.com

Ляпин Сергей Александрович

Липецкий государственный технический университет
Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская,
д. 30
Д.т.н., профессор кафедры «Управление автотранспортом»
E-mail: lyapinserg2012@yandex.ru

Саражинский Денис Сергеевич

Белорусский национальный технический университет
Адрес: 220013, Беларусь, г. Минск,
пр-т Независимости, 65
К.ф.-м.н., доцент кафедры «Транспортные системы и технологии»
E-mail: sarazhinsky@mail.ru

IMPROVING THE SAFETY OF ROUTE PASSENGER TRANSPORT USING ADAPTIVE CONTROL OF TRAFFIC LIGHTS

Abstract. The article discusses the issues of improving the safety of the tram as one of the promising types of urban passenger transport. The causes of an accident involving a tram in Minsk are analyzed. Measures have been proposed to reduce the number of accidents involving a tram. It is noted that a significant part of accidents involving a tram at intersections is inextricably linked to the speeding of one of the parties to the conflict. Measures are recommended to reduce the accident rate between a tram and a car in Minsk. A strategy for organizing traffic light regulation with adaptive control on a section of the road network with tram traffic is proposed.

Keywords: traffic safety, tram, traffic accident, traffic light object, road adaptive control, traffic light regulation, infrastructure, traffic speed, accident rate

BIBLIOGRAPHY

1. Vrubeľ, YU.A., Kapskiy D.V., Kot E.N. Opredelenie poter` v dorozhnom dvizhenii: monografiya. Mn.: BITU, 2006. 240 s.
2. Kapskiy D.V. Metodologiya povysheniya kachestva dorozhnogo dvizheniya. Minsk: BNTU, 2018. 370 s.
3. Ustoychivaya gorodskaya mobil`nost`: teoriya i praktika razvitiya / A.O. Lobashov, E.N. Kot, D.V. Kapskiy [i dr.]. Vologda: Infra-Inzheneriya, 2023. 236 s. EDN ADEWPO.
4. Sinerhiya podkhodov k sovershenstvovaniyu intellektual`nykh transportnykh sistem gorodov v Rossii i Belorussii / I. N. Pugachev, D. V. Kapskiy, D. V. Navoy [i dr.]. Habarovsk: Tikhookeanskiy gosudarstvennyy universitet, 2020. 230 s. EDN YDRMXN.
5. Kapskiy D.V., Kot E.N., Semchenkov S.S. Sravnenie vozmozhnostey ispol`zovaniya trolleybusov i elektrobusov dlya perevozok passazhirov v gorodakh // Avtomobile- i traktorostroenie: Materialy konf. Minsk: BNTU, 2019. T. 2. S. 210-214.
6. Kapskiy D.V. Prognozirovanie avariynosti v dorozhnom dvizhenii: monografiya. Minsk: Belorusskiy natsional`nyy tekhnicheskii universitet, 2008. 243 s. EDN VRTZHK.
7. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya dorozhnym dvizheniem: Uchebnoe posobie dlya uchrezhdeniy vysshego obrazovaniya po spetsial`nosti «Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya» / D.V. Kapskiy, YU.A. Vrubeľ, D.V. Navoy [i dr.]. Minsk; Moskva: Izdatel`skiy Dom «Infra-M», 2015. 367 s. EDN YWURBB.
8. Osnovy avtomatizatsii intellektual`nykh transportnykh sistem: Uchebnik / D.V. Kapskiy, E.N. Kot, S.V. Bogdanovich [i dr.]. Vologda: OOO «Izdatel`stvo «Infra-Inzheneriya», 2022. 412 s. EDN KVMHHS.
9. Koordinirovannoe upravlenie dorozhnym dvizheniem: Monografiya / YU.A. Vrubeľ, D.V. Kapskiy, D.V. Rozhanskiy [i dr.]. Minsk: Belorusskiy natsional`nyy tekhnicheskii universitet, 2011. 230 s. EDN TLBBOV.
10. Skirkovskiy S.V., Kapskiy D.V., Navoy D.V. Teoreticheskie i prakticheskie podkhody k sozdaniyu i razvitiyu intellektual`noy transportnoy sistemy goroda. Gomel`: Uchrezhdenie obrazovaniya «Belorusskiy gosudarstvennyy universitet transporta», 2022. 171 s. EDN PXXPAX.
11. Guidelines for Traffic Signals RILSA // Forschungsgesellschaft fiir Straiten- und Verkehrswesen e.V., Koln. 2003. 152 s.
12. Petridou E., Moustaki M. Human factors in the causation of road traffic crashes/ European Journal of Epidemiology: setevoj zhurnal [Elektronnyy resurs] / 2000. URL: <https://doi.org/10.1023/a:1007649804201>.
13. CHvanov V.V. Metody otsenki i povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya s uchetom usloviy raboty voditelya. M.: INFRA-M, 2010. 416 s.
14. Bogdanovich S.V., Chernyuk A.N. Napravleniya razvitiya podkhodov k obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Respublike Belarus` // Ensuring traffic safety in the Fergana valley: problems and solutions: Materials of the International Conference. Part 1. Namangan: NECI. 2024. R. 465469.
15. Aliane N. et al. Traffic violation alert and management [Elektronnyy resurs] / IEEE Xplore. 2001. URL: <https://doi.org/10.1109/itsc.2011.6082811>.

Liu Yuwei

Belarusian National Technical University
Address: 220013, Belarus, Minsk, Nezavisimosti Ave., 65
Graduate student
E-mail: 1277794415@qq.com

Kapski Denis Vasilievich

Belarusian National Technical University
Address: 220013, Belarus, Minsk, Nezavisimosti Ave., 65
Doctor of technical sciences
E-mail: d.kapsky@gmail.com

Lyapin Sergey Alexandrovich

Lipetsk State Technical University
Address: 398055, Russia, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30,
Doctor of technical sciences
E-mail: lyapinserg2012@yandex.ru

Sarazhinsky Denis Sergeevich

Belarusian National Technical University
Address: 220013, Belarus, Minsk, Nezavisimosti Ave., 65
Candidate of technical sciences
E-mail: sarazhinsky@mail.ru

Научная статья

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-60-67

В.Н. БОГУМИЛ, В.М. ВЛАСОВ, Ю.В. ГУСЕЙНАЛИЕВ, А.А. НЕРЕТИН

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТ ПО ИХ СОДЕРЖАНИЮ

Аннотация. Рассматриваются вопрос повышения безопасности дорожного движения. Одним из направлений решения данного вопроса является повышение качества работ по содержанию автомобильных дорог, выполняемых дорожными машинами. Это направление может быть реализовано на основе применения специализированных бортовых аппаратно-программных средств телематики, позволяющих оценивать функциональное состояние рабочих органов дорожных машин и, на этой основе контролировать качество выполняемых технологических операций, то есть выполнять функцию системы управления, которая в настоящее время выполняется оператором дорожной машины.

В статье рассматривается реализация данного подхода, основанная на обработке акустического следа, формируемого приводными механизмами и рабочими органами дорожных машин.

Актуальность темы обосновывается тем, что в настоящее время отсутствуют научные методы контроля качества технологических операций работ по содержанию дорог, выполненных дорожными машинами. Отсутствие объективных методов оценки качества выполненных объемов работ создает условия для некачественного выполнения работ и, следовательно, создает условия для снижения уровня безопасности движения на дорогах.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, безопасность дорожного движения, транспортная инфраструктура, телематическое оборудование, акустическая диагностика

Введение

Создание современной, комфортной и надежной транспортной инфраструктуры является одной из главных стратегических задач Российской Федерации. Решение данной задачи являлась основной целью федерального проекта «Развитие федеральной магистральной сети» — повышение уровня экономической связанности территорий России за счет строительства и реконструкции участков автомобильных дорог федерального значения [1, 2].

К значимым результатам, достижение которых предусмотрено проектом, можно отнести строительство обходов крупных городов, строительство транспортных развязок, ликвидацию одноуровневых пересечений с железными дорогами, а также строительство и реконструкцию мостовых переходов.

Сеть автомобильных дорог общего пользования федерального значения расширяется за счет дорог, расположенных на новых территориях. Постановлением Правительства РФ от 14 июня 2023 года №983 статус федеральных присвоен четырем автомобильным дорогам на новых территориях. Расположены трассы на территории Донецкой и Луганской народных республик, а также Херсонской и Запорожской областей. Первая носит индекс Р-150 и связывает Белгород с Мариуполем через Луганск и Донецк. Вторая проходит между Волгоградом и Луганском и обозначена Р-260. Третья дорога проходит между Ростовом-на-Дону и Симферополем через Мариуполь и Мелитополь и имеет индекс Р-280. Четвертая дорога от Кантемировки в Воронежской области до Луганск имеет индекс А-258.

Материал и методы

До 2024 года планируется осуществить строительство и реконструкцию участков автодорог федерального значения общей протяженностью 1,8 тыс. км [1]. На содержание автомобильных дорог тратятся большие объемы бюджетных средств. К работам по содержанию

автомобильных дорог федерального значения привлекаются сотни подрядных организаций. Контроль выполнения работ осуществляется с использованием комплекса «Дортранснавигация». Комплекс «Дортранснавигация» представляет собой 3-х уровневую автоматизированную систему навигационного диспетчерского контроля работы транспорта и механизмов дорожно-эксплуатационных предприятий [3]. Архитектура системы «Дортранснавигация» отображена на рисунке 1.

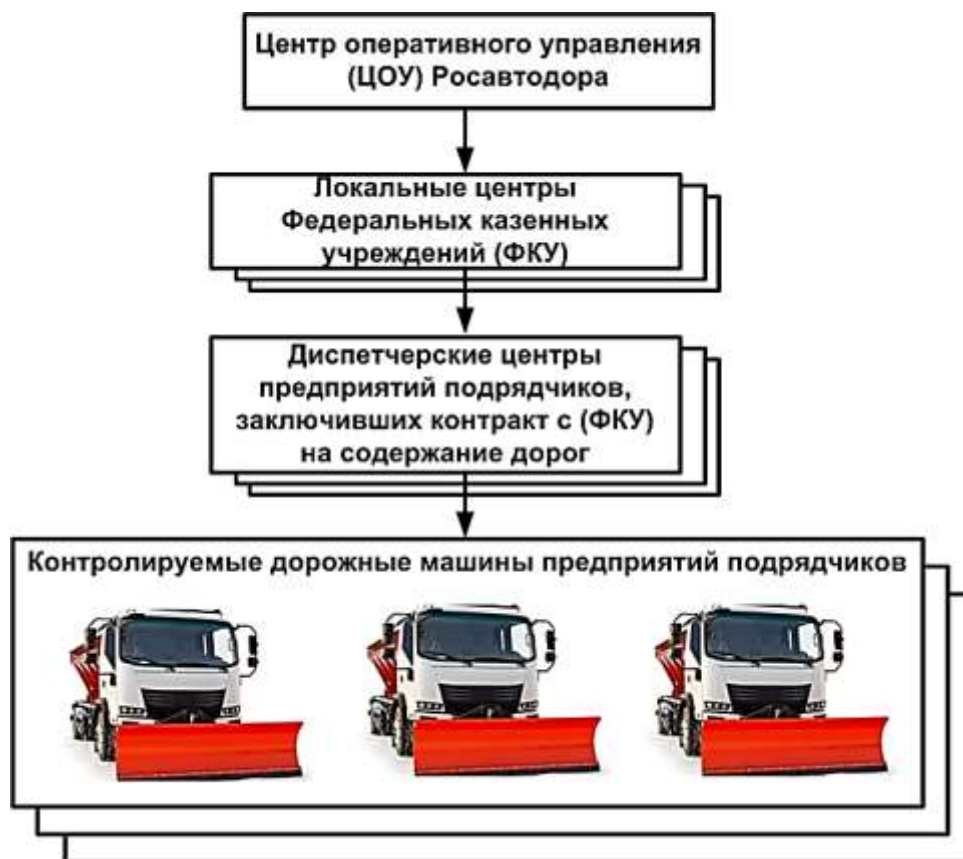


Рисунок 1 - Архитектура системы «Дортранснавигация»

Недостатком системы «Дортранснавигация» является отсутствие возможности учета объемов выполненных работ в натуральном выражении, что создает возможность приписок, а также ошибок в расчете объёмов выполненных работ в натуральном выражении.

1. В настоящей статье рассмотрен подход к оценке выполненных объемов работ дорожной машины в натуральном выражении на примере вакуумной подметально-уборочной машины. Подход разработан на основе применения математического анализа акустических сигналов (шума) рабочих органов машины и их приводов. В данном подходе в качестве входного сигнала для датчика, формирующего исходный сигнал, является звук, издаваемый узлами и агрегатами дорожных машин, который представляет собой акустическое излучение, производимое при их работе.

В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ ISO 3745-2014 [4] важнейшими характеристиками звука являются:

- звуковое давление, p - переменная часть давления, возникающая при прохождении звуковой волны в среде; только эта величина воспринимается человеческим ухом;
- сила звука, I - количество звуковой энергии, прошедшее через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения звука, Вт/м²;
- звуковая мощность, W - общее количество энергии, излучаемой машиной в окружающее пространство в виде звука и прошедшей через поверхность полусферы радиуса $г$ в единицу времени, Вт;
- уровень звукового давления, L_p - Десятикратный десятичный логарифм отношения

квадрата звукового давления p к квадрату опорного звукового давления p_0 ($p_0 = 20$ мкПа), выраженный в децибелах (дБ):

$$L_p = 10 \lg \left[\frac{p^2}{p_0^2} \right], \text{ дБ}, \quad (1)$$

уровень звуковой мощности, L_w

$$L_w = 10 \lg \left[\frac{P}{P_0} \right], \quad (2)$$

где $P_0 = 10^{-12}$, Вт (пороговое значение)

Теория и расчет

В настоящее время существует два основных подхода к решению задачи цифровой обработки и анализа звуковых данных.

Первое направление основано на использовании теории рядов Фурье. В этом подходе задача решается на основе спектрального анализа периодических сигналов [5-9]. Периодический сигнал представляется математической моделью процесса, циклически повторяющегося во времени в виде суммы гармонических колебаний с различными частотами. Сумма отдельных гармонических компонент сигнала образует его спектр или спектральное разложение этого сигнала в базисе гармонических функций. Спектральное представление сигнала, рассматриваемого, как функцию от времени можно получить, используя его разложение в ряд Фурье.

Произвольный сигнал $s(t)$ можно разложить на заданном интервале в ряд по тригонометрическому базису, т.е. получить его спектральное представление. Данное разложение справедливо на всей бесконечной оси времени и называется тригонометрическим рядом Фурье:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \omega_1 n t + b_n \sin \omega_1 n t), \quad (3)$$

где коэффициенты: $a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} s(t) dt$;

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} s(t) \cos(\omega_1 n t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} s(t) \sin(\omega_1 n t) dt.$$

В общем случае периодический сигнал содержит в себе не зависящую от времени постоянную составляющую, равную среднему значению сигнала на заданном интервале времени, и бесконечный набор гармонических колебаний, так называемых гармоник с частотами $\omega_n = n \omega_1$, $n = 1, 2, 3, \dots$, кратными основной частоте последовательности.

Данный подход хорошо отработан методически и имеет мощную поддержку в среде моделирования MATLAB [10].

Использование данного подхода основано на разработке методики выделения частот с большими амплитудами, которые и будут соответствовать рабочим частотам контролируемых агрегатов и/или их приводов. Один из основных методов практического решения данной задачи основан на использовании быстрого преобразования Фурье [6, 11] и фильтрации принимаемых сигналов [12-15].

Второе направление основано на использовании одного из методов искусственного интеллекта, а именно теории искусственных нейронных сетей [16, 17]. Искусственная нейронная сеть представляет собой аппаратно-программный комплекс, реализующий работу группы искусственных нейронов, организованных в несколько последовательных слоев (многослойная сеть). Такая организация имеет слой входных, промежуточные слои нейронов и слой выходных нейронов. Каждый искусственный нейрон принимает входные сигналы, обрабатывает их и передает результат обработки нейронам следующего слоя. Основная особенность такой сети, – ее способность к обучению. Это означает, что при подаче сигналов на слой входных нейронов в результате итеративной подстройки параметров, определяющих работу нейронов сети, на выходе будет получаться адекватный результат. В нашем случае на

входе должен восприниматься звуковой сигнал, а результатом работы должна определяться частота (частоты) работы основных агрегатов.

Подход к разработке архитектуры бортовой системы контроля функционального состояния рабочих органов дорожной машины основан на предположении, что дорожная машина контролируется диспетчерской системой. С этой целью на борту дорожной машины устанавливается навигационно-связной блок, который с высокой периодичностью передает телематическую информацию в диспетчерский центр по мобильной связи. Архитектура системы показана на рисунке 2.

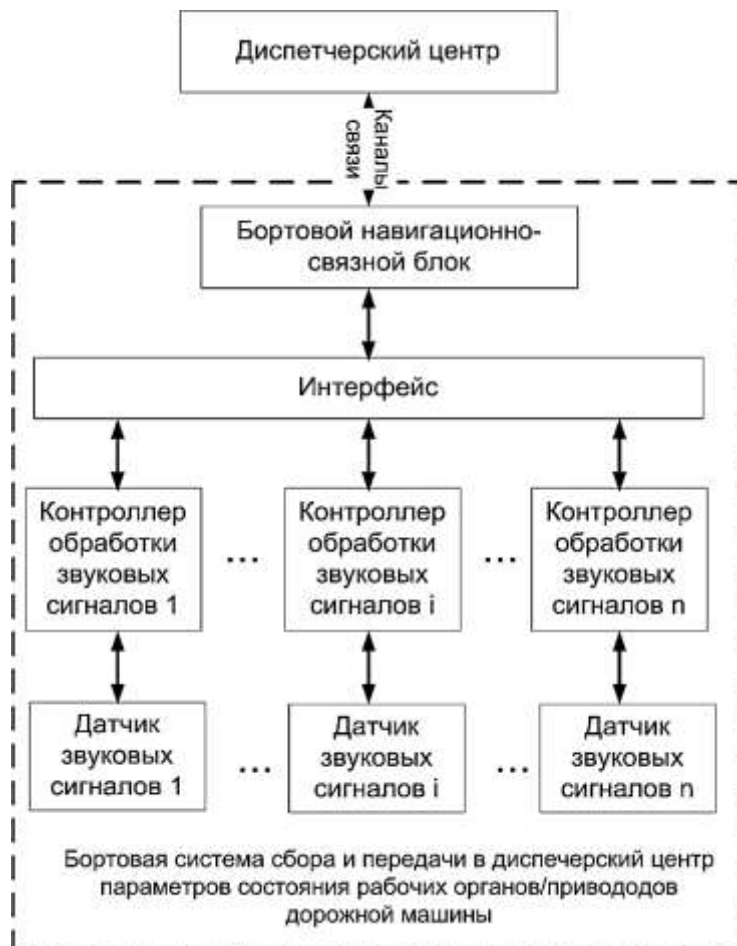


Рисунок 2 - Архитектура бортовой системы контроля функционального состояния рабочих органов вакуумно-подметальной дорожной машины

Принципы организации взаимодействия элементов бортовой системы, следующие:

- 1) задача оценки параметров состояния рабочего органа/привода возлагается на специализированный контроллер, который подключается к датчику звуковых сигналов (микрофону);
- 2) для простоты и надежности предполагается, что для решения задач оценки параметров состояния рабочего органа/привода один контроллер будет связан только с одним рабочим органом/приводом;
- 3) каждый контроль по внутренним каналам связи передает информацию о функциональном состоянии рабочего органа/привода бортовому навигационно-связному блоку;
- 4) бортовой навигационно-связной блок передает данные в виде информационной посылки в диспетчерский центр с интервалом 15-20 секунд;
- 5) диспетчерский центр проводит логическую обработку информации и по набранным данным оценивает объемы работы дорожной машины в натуральном выражении.

Результаты и обсуждение

В качестве объекта исследования нами выбрана отечественная вакуумная подметаль-

но-уборочная машина КО-326 на базе автомобиля КамАЗ. Обоснованием для выбора является распространенность данных машин при выполнении работ по весенне-летне-осеннему содержанию автомобильных дорог.

Особенность конструкции данной машины заключается в том, что привод вентилятора, насоса осуществляется от дополнительного двигателя. Запуск, остановка, управление оборотами дополнительного двигателя, а также включение и выключение муфты сцепления дополнительного двигателя осуществляется с пульта управления, расположенного в кабине машины. Основные параметры машины КО-326 показаны в таблице 1.

Таблица 1 - Основные рабочие параметры машины КО-326 [18]

Параметр	Значение
Мощность автономного двигателя для привода рабочих органов и вентилятора, кВт (л.с.)	85,7 (114)
Тип привода рабочего оборудования	Гидравлический, пневматический
Тип вентилятора	Центробежный
Привод вентилятора	Механический
Частота вращения рабочего колеса вентилятора, об/мин	3000
Полное давление, Па	6800 (0,068 атм.)
Устройство всасывания смета, тип	Всасывающее сопло на тележке с двумя опорными колесами
Количество всасывающих узлов	2
Расположение	Справа в боковом свесе слева и справа для двух шахтного варианта
Ширина всасывающего устройства, мм, не менее	600
Диаметр всасывающего рукава, мм, не менее	250
Скорость воздушного потока в пневмопроводе, м/с	до 50

В качестве предмета исследования выбраны методы оценки параметров звуковых сигналов, формируемых узлами и агрегатами дорожной машины.

Цикличность полезных сигналов позволяет сформулировать гипотезу о возможности выделения полезных сигналов на основе использования метода быстрого преобразования Фурье [19]. При этом, одним из параметров решения задачи является оценки частоты полезного сигнала. Частота звукового сигнала привода рабочего органа напрямую может быть связана с режимом работы рабочего органа.

Гипотеза: Оценка функционального состояния рабочих органов вакуумная подметально-уборочная машина КО-326 (включен, выключен и др.) может быть выполнена на основе оценки состояния вспомогательных агрегатов (вентилятор, водяной насос). Циклический характер работы вентилятора, водяного насоса позволяет сделать предположение о том, что для оценки функционального состояния данных агрегатов можно воспользоваться подходом, известным как «Выделение сигнала на фоне шумов» на основе использования быстрого преобразования Фурье [6, 11].

Выводы

В статье рассмотрен актуальный вопрос повышения безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах на основе использования современных методов контроля качества технологических операций работ по их содержанию на основе оценки функционального состояния рабочих органов, используемых при выполнении технологических операций. Впервые предложено оценивать функциональное состояние рабочих органов и их приводов на основе обработки акустического следа с использованием бортовой телематической аппаратуры.

Возможность решения указанной задачи связывается с появлением современных методов акустической диагностики и вибродиагностики, основанных на обработке акустических и вибрационных сигналов, позволяющих оценить техническое состояние узлов и агрегатов различных машин. Авторами выдвигается гипотеза о возможности достоверной оценки функционального состояния рабочих органов дорожных машин на основе обработки акусти-

ческих и вибрационных сигналов. При этом под функциональным состоянием рабочего органа понимается состояние «включен», «выключен» и другие возможные состояния, значимые с точки зрения оценки качества выполнения технологических операций. В статье рассмотрен пример возможного применения изложенных методов для оценки объемов работ, выполняемых вакуумными подметально-уборочными машинами.

Предложена архитектура бортового комплекса, представляющая из себя иерархическую систему, включающую ряд контроллеров, обрабатывающих акустические сигналы, формируемые рабочими органами дорожной машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патракеева О.Ю. Национальные проекты развития транспортной инфраструктуры: региональное измерение // Труды Южного научного центра Российской академии наук. 2021. Т. 9. С. 152-160. DOI 10.23885/1993-6621-2021-9-152-160. EDN: SCXJOQ.
2. Шамоян Э.Д., Масленникова Е.В. Проблемы реализации национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» // Общество, экономика, управление. 2021. Т. 6. №3. С. 27–32. DOI: 10.47475/2618-9852-2021-16304. EDN: SFBDBR.
3. Власов В.М., Богумил В.Н., Байтулаев А.М. Цифровая инфраструктура и телематические системы контроля работ по содержанию автомобильных дорог: Учебное пособие. Москва: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2021. 229 с. DOI: 10.12737/1014643 EDN VHZXBQ.
4. ГОСТ ISO 3745-2014. Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Москва: Стандартинформ, 2015. 43 с.
5. Абдуллаев У.М. Методы и алгоритмы обработки звуковых сигналов // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №6. С. 25-40.
6. Давлатова Ф.И. Оптимальная квадратурная формула для приближенного вычисления интегралов Фурье // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2022. №55/1(44). С. 73-83. EDN ITXHNJY.
7. Бакулов П.А., Кудрявцев А.А. Нечеткая логика в задаче автоматизированного удаленного диагностирования неисправности автомобиля по имеющимся косвенным признакам // Транспорт: наука, техника, управление = Transport: science, equipment, management: научный информационный сборник. 2018. №7. 49-51. EDN ITXHNJY.
8. Benesty J., Sondhi M., Huang Y. (Eds). Springer Handbook of Speech Processing // Springer. 2008. 1161 P. DOI: 10.1007/978-3-540-49127-9_44.
9. Harris F. On the Use of Windows for Harmonic Analysis With the Discrete Fourier Transform // Proceedings of the IEEE. 1978, Vol. 66. №1. P. 51-83. – DOI: 10.1109/PROC.1978.10837.
10. Цифровая обработка сигналов и MATLAB / А.И. Солонина, Д.М. Клионский, Т.В. Меркучева, С.Н. Перов. СПб.: «БХВ-Петербург», 2013. 412 с.
11. Королев Н.И. Цифровые фильтры для обработки звуковых сигналов // Ломоносов: Материалы XXX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Москва: ООО «МАКС Пресс», 2023. №94. С. 52-58. EDN KEECW1.
12. Джиган В.И. Эффективность компенсации сигналов акустического эха с помощью адаптивного фильтра на основе многоканального быстрого алгоритма аффинных проекций // Цифровая обработка сигналов. 2023. №1. С. 3-11. EDN DNKTZE.
13. Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. Москва: Техносфера, 2013. 529 с.
14. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2012. 1104 с.
15. Mansour N. Review On Digital Filter Design Techniques // International Journal for Research in Applied Science & Engineering. 2015. Vol. 3. №4. P. 235-241.
16. Жолондковский В.В. Сравнительный анализ нейросетевых подходов для решения задачи распознавания голосовой команды // Перспективные системы и задачи управления: Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции и XIV молодежной школы-семинара, 2023. С. 349-359. EDN DIZVHO.
17. Корогодина А.Г. Программная нейронная сеть // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы: Материалы международной научно-практической конференции. М.: Российский университет транспорта, 2022. С. 156-160. EDN KMSFVA.
18. Кустарев Г.В., Данилов Р.Г., Андрюхов Н.М. Поливомоечные и комбинированные дорожные машины: Учебное пособие. Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023. 226 с. EDN ZMQDTY.
19. Столбов М.Б. Основы анализа и обработки речевых сигналов: Учебное пособие. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2021. 101 с. EDN WTVXRV.

Богумил Вениамин Николаевич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

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

E-mail: v_bogumil@mail.ru

Власов Владимир Михайлович

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Транспортная телематика»

E-mail: vmv@transnavi.ru

Гусейналиев Юсуф Вагифович

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Аспирант,

E-mail: guseinaliev99@mail.ru.

Неретин Александр Андреевич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

К.т.н., доцент кафедры «Менеджмент»

E-mail: neretin_sasha@mail.ru

V.N. BOGUMIL, V.M. VLASOV, YU.V. GUSEINALIEV, A.A. NERETIN

IMPROVING ROAD SAFETY ON MOTOR ROADS BASED ON THE USE OF MODERN METHODS OF QUALITY CONTROL OF THEIR MAINTENANCE WORKS

Abstract. *The article considers the issue of improving road safety. One of the directions for solving this issue is to improve the quality of road maintenance work performed by road machines. This direction can be implemented based on the use of specialized on-board telematics hardware and software. That allow assessing the functional state of the working bodies of road machines and, on this basis, monitoring the quality of the technological operations performed, that is, performing the function of the control system, which is currently performed by the operator of the road machine.*

The article considers the implementation of this approach based on the processing of the acoustic trace formed by the drive mechanisms and working bodies of road machines.

The relevance of the topic is substantiated by the fact that at present there are no scientific methods for quality control of technological operations of road maintenance work performed by road machines. The lack of objective methods for assessing the quality of the completed volumes of work creates conditions for poor-quality work and, consequently, creates conditions for reducing the level of traffic safety on the roads.

Keywords: *motor transport, road safety, transport infrastructure, telematics equipment, acoustic diagnostics*

BIBLIOGRAPHY

1. Patrakeeva O.YU. Natsional'nye proekty razvitiya transportnoy infrastruktury: regional'noe izmerenie // Trudy YUzhnogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2021. T. 9. S. 152-160. DOI 10.23885/1993-6621-2021-9-152-160. EDN: SCXJOQ.
2. Shamoyan E.D., Maslennikova E.V. Problemy realizatsii natsional'nogo proekta "Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi" // Obshchestvo, ekonomika, upravlenie. 2021. T. 6. №3. S. 27-32. DOI: 10.47475/2618-9852-2021-16304. EDN: SFBDBR.
3. Vlasov V.M., Bogumil V.N., Baytulaev A.M. Tsifrovaya infrastruktura i telematicheskie sistemy kontrolya rabot po sodержaniyu avtomobil'nykh dorog: Uchebnoe posobie. Moskva: OOO "Nauchno-izdatel'skiy tsentr INFRA-

M", 2021. 229 s. DOI: 10.12737/1014643 EDN VHZXBQ.

4. GOST ISO 3745-2014. Akustika. Opredelenie urovney zvukovoy moshchnosti i zvukovoy energii istochnikov shuma po zvukovomu davleniyu. Moskva: Standartinform, 2015. 43 s.

5. Abdullaev U.M. Metody i algoritmy obrabotki zvukovykh signalov // Byulleten` nauki i praktiki. 2020. T. 6. №6. S. 25-40.

6. Davlatova F.I. Optimal'naya kvadraturnaya formula dlya priblizhennogo vychisleniya integralov Fur'e // Problemy vychislitel'noy i prikladnoy matematiki. 2022. №S5/1(44). S. 73-83. EDN ITXHJY.

7. Bakulov P.A., Kudryavtsev A.A. Nechetkaya logika v zadache avtomatizirovannogo udalennogo diagnostirovaniya neispravnosti avtomobilya po imeyushchimsya kosvennym priznakam // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie = Transport: science, equipment, management: nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2018. №7. 49-51. EDN ITXHJY.

8. Benesty J., Sondhi M., Huang Y. (Eds). Springer Handbook of Speech Processing // Springer. 2008. 1161 P. DOI: 10.1007/978-3-540-49127-9_44.

9. Harris F. On the Use of Windows for Harmonic Analysis With the Discrete Fourier Transform // Proceedings of the IEEE. 1978, Vol. 66. №1. R. 51-83. - DOI: 10.1109/PROC.1978.10837.

10. Tsifrovaya obrabotka signalov i MATLAB / A.I. Solonina, D.M. Klionskiy, T.V. Merkucheva, S.N. Perov. SPb.: "BHV-Peterburg", 2013. 412 s.

11. Korolev N.I. Tsifrovye fil'try dlya obrabotki zvukovykh signalov // Lomonosov: Materialy XXX Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Moskva: OOO "MAKS Press", 2023. №94. S. 52-58. EDN KEECWI.

12. Dzhigan V.I. Effektivnost' kompensatsii signalov akusticheskogo ekha s pomoshch'yu adaptivnogo fil'tra na osnove mnogokanal'nogo bystrogo algoritma affinykh proektsiy // Tsifrovaya obrabotka signalov. 2023. №1. S. 3-11. EDN DNKTZE.

13. Dzhigan V.I. Adaptivnaya fil'tratsiya signalov: teoriya i algoritmy. Moskva: Tekhnosfera, 2013. 529 s.

14. Gonsales R., Vuds R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. Moskva: Tekhnosfera, 2012. 1104 s.

15. Mansour N. Review On Digital Filter Design Techniques // International Journal for Research in Applied Science & Engineering. 2015. Vol. 3. №4. R. 235-241.

16. Zholondkovskiy V.V. Sravnitel'nyy analiz neyrosetevykh podkhodov dlya resheniya zadachi raspoznavaniya golosovoy komandy // Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya: Materialy XVIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii i XIV molodezhnoy shkoly-seminara, 2023. S. 349-359. EDN DIZVHO.

17. Korogodin A.G. Programmnyaya neyronnaya set' // Tsifrovaya transformatsiya transporta: problemy i perspektivy: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. M.: Rossiyskiy universitet transporta, 2022. S. 156-160. EDN KMSFVA.

18. Kustarev G.V., Danilov R.G., Andryukhov N.M. Polivomoechnye i kombinirovannye dorozhnye mashiny: Uchebnoe posobie. Moskva: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet (MADI), 2023. 226 s. EDN ZMQDTY.

19. Stolbov M.B. Osnovy analiza i obrabotki rechevykh signalov: Uchebnoe posobie. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy natsional'nyy issledovatel'skiy universitet informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki, 2021. 101 s. EDN WTVXRV.

Bogumil Veniamin Nikolaevich

Moscow Automobile and Road Transport State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Ave.

Candidate of Technical Sciences

E-mail: v_bogumil@mail.ru

Huseynaliyev Yusuf Vagifovich

Moscow Automobile and Road Transport State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Ave.

Graduate student

E-mail: guseinaliev99@mail.ru

Vlasov Vladimir Mikhailovich

Moscow Automobile and Road Transport State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Ave.

Doctor of Technical Sciences

E-mail: vmv@transnavi.ru

Neretin Aleksander Andreevich

Moscow Automobile and Road Transport State Technical University (MADI)

Address: 64 Leningradsky Ave., Moscow, 125319, Russia

Candidate of Technical Sciences

E-mail: neretin_sasha@mail.ru

Научная статья

УДК 351.811, 351.815, 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-68-77

С.В. ЕРЕМИН

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ МОБИЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы и тенденции изменения совокупности средств и способов перемещения внутри городских пространств. Городская транспортная мобильность в последние годы входит в стадию активной трансформации, существенно расширяя ассортимент способов и средств внутригородского перемещения. Появление новых мобильных средств, преимущественно персонального пользования, создает новые вызовы для гармонизации многофакторных систем функционирования городов. Эти вызовы трансформации городской мобильности создают предпосылки к формированию обособленной мобильной политики основанной на управлении ассортиментом транспортных услуг.

Ключевые слова: транспортная мобильность населения, ассортимент транспортных услуг, городская мобильность, гармонизация многофакторных систем, мобильная политика, трансформация пассажиропотоков, индивидуальная транспортная мобильность, мультимобильность

Введение

Общественный транспорт в городах, до недавнего времени являлся одним из системных инструментов удовлетворения спроса на передвижение людей начинает планомерно передавать часть нагрузки иным пассажирским транспортным системам. При этом, расслоение пассажиропотока происходит не императивно - управленческим способом, а методом эволюционного развития общества и конкуренции технологий.

Пассажирский транспорт, как системоопределяющая отрасль всегда являлся зеркальным отражением уровня сервисных запросов жителей городов. Такие принципиальные изменения в пассажирском рельефе все отчетливей видны в сфере городской мобильности. Для современных городов расширение ассортимента мобильности и вхождение в период мультимобильности является дополнительным и ответственным вызовом.

Учитывая многофакторность развития городов, общества и экономики система общественного транспорта только в последние годы начала приобретать контуры организованной системы. Однако, даже с необходимыми ресурсами, пристальным вниманием со стороны государства и общества сфера общественных перевозок продолжает развиваться в сложном контексте [1].

Динамичный рост городов привел к росту запроса жителей на сервисные функции, в том числе и на транспорте. Особенно остро сервисный запрос на разнообразие и доступность средств мобильности формируется в городских территориях нового строительства. Неравномерность развития функциональных городских территорий, распределения центров притяжения внимания, концентрация трудовых опций - все это серьезно влияет на транспортные системы городов.

Одной из системных предпосылок дискредитации транспортной системы являются инвестиционные предпочтения в градостроительном сегменте рынка. В настоящее время экономика градостроительства в современных городах является более предпочитаемой для инвестиций, чем затратные социально - обслуживающие отрасли. Множественность подобных факторов с определенной степенью значимости влияют на внутригородские трансформации, которые в свою очередь предопределяют необходимость формулирования научно - обоснованных предложений для гармонизации сложноорганизованных систем. Вызовы и тенденции требуют предметного и системного научного исследования.

Материал и методы

К предметам научного исследования городской мобильности можно отнести:

- многофакторную динамическую систему городской мобильности;
- методологические принципы формирования новой отрасли транспортной мобильности;
- методы гармонизации транспортного спроса и инфраструктурных решений для сбалансированного транспортного обслуживания населения в городах.

Глобальные трансформации городов, формирование геополитических урбанизированных агломерационных территорий, изменение планировочных градостроительных решений, прогрессивный рост численности населения городов - центров субъектов РФ, изменение социально - экономической роли городов - все эти факторы являются вызовами современности и материалами для системных исследований.

Транспортные системы в условиях глобальных городских трансформаций также становятся неотъемлемыми атрибутами изменений. Меняющийся транспортный спрос, модели поведения жителей городов, технологическое разнообразие транспортных систем становятся неотъемлемыми материалами для исследований городской мультимобильности.

До недавнего времени в теории и практике преобладало два конкурирующих подхода к решению вопроса удовлетворения спроса на передвижение - автомобиль в личной собственности и общественный пассажирский транспорт [2]. При этом многолетний опыт гармонизации и балансировки транспортного спроса и провозных возможностей, так и не достигли точки равновесия. Конкурентное существование личного и общественного транспорта - это система постоянного конкурирования с разной степенью успешности. Эффективная транспортная система обеспечивает наиболее быструю и комфортную городскую мобильность для всех жителей города. Этого невозможно достичь в условиях доминирования какого-либо одного вида транспорта [1].

Одним из ключевых и определяющих показателей качества жизни в современных городах является бережное и эффективное использование временного ресурса человека. Транспортные поездки являются существенным фактором, снижающим его потенциал. Чем больше город и менее структурированная городская планировка, тем транспортные издержки будут выше, а дефицит времени становится более ощутимым. Тем самым, расширение ассортимента способов перемещения является объективным фактором нивелирования непродуктивного городского времени. Эту тактовую непродуктивность можно отнести к категории критического времени, формирующегося из временных излишков, затрачиваемых на жизненно необходимые и циклические поездки.

Важным аспектом для принятия научно - обоснованных решений является количество потенциальных запросов на транспортную услугу, возможность их удовлетворения и качество реализации.

С этой целью в предмет данного научного исследования и анализа предлагается включить следующую архитектуру проблемных вопросов транспортной мобильности:

- динамику численности городского населения в ощутимо - значимом многолетнем временном периоде;
- количество перевезенных пассажиров и пассажирскую работу общественного транспорта, обеспечивающего пассажирский спрос;
- количественное и видовое распределение ресурсов материального фонда пассажирского транспорта;
- параметрические показатели уровня фактической загрузки подвижного состава общественного транспорта;
- виды альтернативных способов мобильности и оценочные факторы, определяющие перспективную структуру и баланс транспортной мобильности;
- влияние и готовность инфраструктуры для удовлетворения альтернативных способов мобильности;

С целью выявления изменений в структуре потенциального пассажирского спроса рассмотрим численность населения в значимом временном периоде на примере городов с населением свыше 1 млн. человек. Временной период, достаточный для выявления исторических тенденций и закономерностей предлагается принять в диапазоне 2011 - 2024 гг. Шаг статистических данных, не ухудшающий репрезентативность данных и тенденций можно принять от 2 до 4 лет. Данная дискретность позволит подчеркнуть особенности рассматриваемых периодов, характеризующихся насыщенностью экономическими и социальными отклонениями, такими как финансово - экономический кризис 2013-2015 гг., период антиковидных ограничений и период мирового санкционного давления. Каждый из этого периода оказывал свою роль в степени приоритетности использования пассажирского транспорта, как например, пандемийный период. Статистические данные в рамках обозначенных критериев приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Численность населения в городах, с количеством постоянно проживающего населения свыше 1 млн. чел. [3]

Города	2024	2022	2019	2017	2015	2011
Москва	13 149 803	13 015 126	12 615 882	12 380 664	12 197 590	11 541 101
Санкт-Петербург	5 597 763	5 607 916	5 338 890	5 281 579	5 191 690	4 953 219
Новосибирск	1 633 851	1 636 131	1 618 039	1 602 915	1 567 087	1 475 136
Екатеринбург	1 536 183	1 547 044	1 483 119	1 455 514	1 428 042	1 352 793
Казань	1 318 604	1 309 324	1 251 969	1 231 878	1 205 651	1 145 424
Красноярск	1 205 473	1 193 104	1 095 286	1 082 933	1 052 218	*
Нижний Новгород	1 204 985	1 223 488	1 253 511	1 261 666	1 267 760	1 252 455
Челябинск	1 177 058	1 186 284	1 200 719	1 198 858	1 183 387	1 131 108
Самара	1 163 304	1 170 569	1 156 608	1 169 719	1 171 820	1 166 499
Уфа	1 158 952	1 152 378	1 124 226	1 115 560	1 105 667	1 065 621
Ростов-на-Дону	1 140 487	1 142 151	1 133 307	1 125 299	1 114 806	1 090 954
Краснодар	1 138 654	1 105 395	*	*	*	*
Омск	1 104 485	1 121 849	1 164 815	1 178 391	1 173 854	1 154 121
Воронеж	1 046 425	1 057 419	1 054 111	1 039 801	1 023 570	1 039 801
Пермь	1 026 908	1 032 448	1 053 934	1 048 005	1 036 469	*
Волгоград	1 018 898	1 0027 797	1 013 468	1 015 586	1 017 451	1 020 816

Анализ динамики изменения численности населения городов, имеющих статус миллионников, очевидно свидетельствует о консолидированных тенденциях роста. За последнее десятилетие количество таких крупных городов увеличилось с 13 до 16, а численность жителей возросла с 29389048 до 35621833 человек. Таким образом суммарный рост численности населения городов - миллионников с 2011 по настоящее время составил 6232785 человек. Учитывая, что по данным Росстата городским транспортом пользуются 42 % российских граждан [4], то суммарный прирост потенциальных пассажиров в 16 крупнейших городах составил 2 617 769 человек. Это дополнительная и существенная нагрузка на транспортный каркас городов, требующая встречной адекватной реакции.

Для объективизации транспортной ситуации имеет смысл проанализировать следующие временные ряды данных о:

- количестве подвижного состава городского общественного транспорта (табл. 2);
- количестве перевезенных пассажиров (табл. 3);
- пассажирской работе (табл. 4).

Это позволит ракурсно оценить степень эквивалентности растущего городского спроса на передвижение с фактическими возможностями транспортных систем городов.

Таблица 2 - Количество подвижного состава пассажирского общественного транспорта, тыс.ед. [5]

	2024	2022	2019	2017*	2015	2011
Автобусы общего пользования	136	138	166	170	174	158
Трамвайные вагоны	7,1	7,4	7,7	7,7	8,0	8,8
Троллейбусы	7,7	7,6	8,7	9,4	10,2	11,1
Вагоны метрополитена	9,3	9,0	8,7	7,8	7,4	6,3

* - данные использованы из источника [6].

Таблица 3 - Количество перевезенных пассажиров городским транспортом общего пользования, млн.чел. [5, 6]

	2024	2022	2019	2017	2015	2011
Автобусное	5493	4989	5236	5425	5019	5920
Трамвайное	994	999	1240	1327	1478	2004
Троллейбусное	857	831	1148	1376	1616	2152
Метрополитен	3023	2898	3451	3298	3336	3351

Таблица 4 - Пассажирооборот городского транспорта общего пользования, млрд.пасс.-км [5]

	2024	2022	2019	2017	2015	2011
Автобусное	37,2	33,9	36,7	35,5	32,3	39,1
Трамвайное	3,1	3,1	3,8	4,3	4,8	6,7
Троллейбусное	3,3	3,1	4,2	5,2	6,0	7,1
Метрополитен	41,6	40,4	47,4	44,1	44,6	42,4

Теория

Для объективизации статистического пассажирского портрета пользователя общественного транспорта целесообразно рассчитать среднестатистические дальности поездок пассажиров по видам общественного транспорта распределенных во времени. Этот показатель имеет принципиальное значение для объективизации картины пассажирской мобильности. Среднестатистическая расчетная протяженность поездок на различных видах транспорта приведена в таблице 5.

Таблица 5 - Среднестатистическая протяженность поездки 1 пассажира, км

	2024	2022	2019	2017	2015	2011
Автобусное	6,77	6,79	7,01	6,54	6,44	6,60
Трамвайное	3,12	3,10	3,06	3,24	3,25	3,34
Троллейбусное	3,85	3,73	3,66	3,78	3,71	3,30
Метрополитен	13,76	13,94	13,74	13,37	13,37	12,65

Маркерным показателем для анализа предпочтений пассажира, выбирающего тот или иной вид транспорта общего пользования является среднестатистическая суточная загрузка одной единицы подвижного состава. Данные для соответствующего периода времени рассчитаны и представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Среднестатистическая загрузка 1 единицы подвижного состава в сутки, чел.

	2024	2022	2019	2017	2015	2011
Автобусное	110,66	99,05	86,42	87,43	79,03	102,65
Трамвайное	383,56	369,86	441,20	472,16	506,16	623,91
Троллейбусное	304,93	299,57	361,52	401,05	434,06	531,16
Метрополитен	890,56	882,19	1086,76	1158,41	1235,10	1457,27

Пассажирский портрет видовых предпочтений общественного транспорта до недавнего времени представлял практически безальтернативный городской образ мобильности. Но технологический рывок, насытивший потребительский рынок различными средствами инди-

видуальной мобильности серьезно отразился на конкуренции за качество и скорость передвижения. Это автоматически привело к сегментации видового предпочтения выбора средств и способов передвижения. Ассортимент транспортных возможностей существенно сместился в сторону персональной (индивидуальной) мобильности.

Но развитие городов (уточнение - преимущественное расползание), формирование новых видов экономической деятельности городского населения, изменение образа и ценностей жизни, ассортиментное изменение средств индивидуальной мобильности и технологических решений - все это ставит вызов классическим (консервативно - определяющим) видам транспортного сообщения.

Сегодня к ассортиментному многообразию городской индивидуальной мобильности можно отнести наиболее характерные для городов средства и способы передвижения («актив» баланса городской мобильности):

- пешая мобильность;
- велосипеды (публичного и индивидуального пользования);
- электро и механические самокаты (преимущественно арендные);
- моноколеса;
- арендные автомобили публичного использования;
- такси.

Но, говоря о балансе городской мобильности, имеет смысл рассматривать и его «пассив», т.е. сервисные функции, замещающие потребность в передвижении людей по городу. К ним можно отнести:

- роботизированные беспилотные машины (роботы - доставщики);
- велодоставку в различных комбинациях.

Указанные категории, относящиеся к пассиву мобильности стали дополнительным фактором антистимулирования городской подвижности населения. Многие годы и во многих странах мира к таким доминирующим подходам относились шаговые градостроительные и социо - культурные решения, позволяющие избегать излишних транспортных перемещений людей и приоритизация общественного транспорта над частными автомобилями.

Все эти способы перемещения прочно входят в городскую ткань мобильности и становятся для многих жителей генеральным либо смешанным способом удовлетворения личных транспортных услуг. При этом, скорость смещения приоритетов использования классических индивидуальных средств мобильности от спортивно - развлекательных до транспортных или комбинированных формирует государственный инфраструктурный вызов. Сегодня следует констатировать, что в городской экосистеме появилась совершенно новая отрасль с персональными стандартами транспортного обслуживания, к появлению которой не готовыми оказались механизмы государственного управления. Пользователи индивидуальных средств самостоятельно адаптируют имеющуюся городскую инфраструктуру под личные транспортные потребности, внося не только существенные неудобства устоявшимся пользователям (пешеходы, автомобилисты), но и негативно влияя на безопасность.

На рисунке 1 представлены примеры современных видов альтернативной транспортной мобильности (все представленные фото автора за исключением 8 кадра (моноколесо) и 9 кадра (роботы - доставщики)).

Данные организаций, оказывающих услуги по предоставлению средств мобильности свидетельствуют о тенденционных изменениях в структуре транспортного предложения. Так, россияне за сезон 2023 года совершили 208 млн поездок на прокатных электрических самокатах. Это вдвое больше, чем в 2022 году - тогда показатель составил 103,5 млн поездок [7]. Если сопоставить эти данные с количеством перевезенных пассажиров в городах в год, которое составляет 10367 млн. пассажиров, то арендный самокат, совершая 208 млн поездок наступательно подошел к 2 % отметке в глобальной пассажирской транспортной системе.

Данные Ассоциации операторов микромобильности (Рисунок 2), представленные на

Форуме «Транспорт России» в 2023 году отчетливо фиксируют растущую динамику по всем физическим показателям [8].

Отсутствие государственной официальной статистики об основных параметрах альтернативного транспорта также свидетельствует об актуальности государственных подходов в формировании и определении государственной политики отдельной отрасли мобильности.

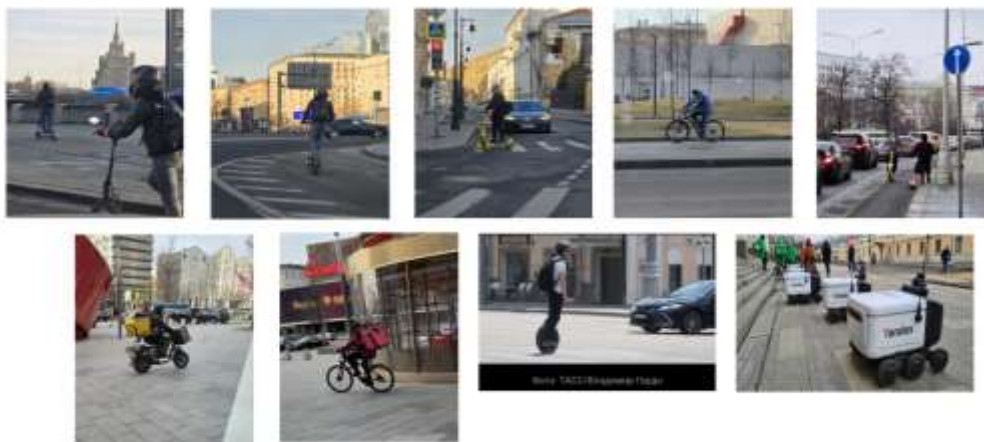


Рисунок 1 - Современные виды городской альтернативной транспортной мобильности



Рисунок 2 - Основные цифры сезонов 2020 - 2023 гг.

Немаловажным фактором в мобильном транспортном балансе являются мероприятия по снижению количества вынужденных передвижений. Такую функцию в городах успешно начинают выполнять роботы доставщики. Только один беспилотный робот может совершать до 15 доставок в сутки на расстояние до 2 км. Это соразмерно с 15 компенсируемыми передвижениями людей, которые внешаговые перемещения могут замещать поездками либо на общественном либо на личном транспорте [15].

Но еще более динамичным сервисом «потребительской ленности», который для городской мобильности выступает антистимулирующим фактором является курьерская доставка. По данным издательства «РБК» в секторе экономики сейчас работает около 1,5 млн. курьеров по всей России [9]. В логистическом аспекте для нас интерес представляет количество высвободившихся перемещений. По данным ряда консалтинговых организаций общий объем доставок в 2024 году составил 279 млн. С другой стороны, исходя из интеграции массива данных, а также учитывая среднюю нагрузку на 1 курьера 10-15 сменных корреспонденций, можно предположить, что совокупный годовой клиентский оборот превышает миллиардный рубеж.

Рассматривая вопросы транспортной мобильности следует подчеркнуть важную особенность - отсутствие глубокой культуры индивидуальной мобильности в городах России. Данное явление, как осязаемый элемент транспортной системы получил активное развитие несколько лет назад. В период второго десятилетия в отличие от многих зарубежных стран

только единично в ряде крупнейших городов России зарождалась система стимулирования использования велосипедов в городской среде, как транспортного способа передвижения.

Для сравнения рассмотрим сгенерированный отчет о плотности велодорожек в разных странах мира на основе данных 2023-2024 гг., представленный в таблице 7. Для генерации и анализа информационных ресурсов использован интеллектуальный ресурс Deepseek [10].

Таблица 7 - сравнительная таблица плотности велодорожек в разных странах мира на основе данных 2023–2024 гг.

Страна	Общая длина велодорожек (км)	Площадь страны (км ²)	Плотность (км/км ²)	Примечания
Нидерланды	~35 000	41 543	0,84	Мировой лидер
Дания	~12 000	42 933	0,28	Копенгаген — велосипедный город
Бельгия	~5 000	30 528	0,16	Антверпен и Брюссель - развитие
Германия	~80 000	357 022	0,22	Включает веломаршруты (Radfernwege)
Франция	~60 000	643 801	0,09	Париж планирует 1 800 км к 2026 году
Швеция	~14 000	450 295	0,03	Мальмё и Стокгольм лидеры
США	~50 000	9 833 517	0,005	Портленд, Миннеаполис, С-Франциско
Канада	~25 000	9 984 670	0,0025	Ванкувер и Монреаль — лидеры
Россия	~8 000	17 098 246	0,0005	Москва, Казань, СПб — лидеры
Япония	~30 000	377 975	0,08	Токио и Киото развивают велодорожки



Рисунок 3 - Пример организации движения на существующем тротуаре для пешеходов и средств индивидуальной мобильности

Представленные данные очевидно свидетельствуют о крайне низких параметрах специализированной инфраструктуры для индивидуальных мобильных систем. По-прежнему, лидирующие позиции занимают несколько городов страны, системно развивающих специализированную инфраструктуру. При этом государственный механизм не предусматривает системных требований по созданию выделенного и обособленного инфраструктурного базиса для новых мобильных систем [14].

Учитывая кратное отставание России по удельному весу приспособленной инфраструктуры потребуется обособленный государственный финансовый инструмент. Пример самой простой велодорожки с приватизированным пешеходным пространством в г. Москве мкр. Ра-

менки представлен на рисунке 3. Помимо того, что из пешеходного оборота изъято 2/3 ширины проезжей части, для безопасного разделения потоков требуется проведение организационно - технических мероприятий связанных с маркированием зональных полос и в целом по организации движения. Данная инфраструктура потребует в дальнейшем также постоянного содержания.

Результаты и обсуждение

Анализируя данные по росту численности населения в городах - миллионниках и качественные транспортные показатели системы общественного транспорта можно сформулировать некоторые тенденции.

Практически за 15 лет количество автобусов обеспечивающих перевозочный процесс на регулярных маршрутах сократилось на 14 %, трамваев на 20 %, а троллейбусов практиче-

ски на 30 %. Единственным видом общественного транспорта имеющим положительную количественную динамику является метрополитен. Количество вагонов метро возросло за этот же период практически на 50 %. Эти изменения характерны преимущественно за счет Москвы и частично Санкт-Петербурга.

Еще более репрезентативными являются физические показатели работы общественного транспорта. Анализируя совокупность основных параметров, таких как количество перевезенных пассажиров и годовой объем пассажирской работы, можно проследить генеральный тренд на их снижение и во временном и типологическом разрезах.

Этот характерный тренд свидетельствует о невозможности радикального изменения в системе общественного транспорта общего пользования. Даже доминирующие показатели результативности и эффективности по г. Москва не преломляют отрицательный тренд.

Расширяя анализ исследования трендов отрасли пассажирских перевозок интересное заключение можно сделать из данных физической суточной загрузки подвижного состава. По всем типам транспорта, за исключением автобусов отмечается устойчивое уменьшение нагрузки на единицу транспортного средства. Это с одной стороны свидетельствует об увеличении комфортности за счет малой физической наполняемости салонов, но с другой стороны формирует неутешительный прогноз физиологической деградации и удорожания услуг либо для пассажира либо для государственного бюджета.

Совокупность этих факторов и трендов, сопровождаемое процессом автономизации личных запросов на передвижение создает новые вызовы управления транспортной мобильностью в городах.

Набираемая ассортиментная альтернатива передвижения общественному и индивидуальному транспорту имеет множество вопросов, которые требуют системного и серьезного регулирования.

Средства индивидуальной мобильности бесконтрольно и уверенно занимают пространство, которое предназначено для пешеходного движения. Это в свою очередь провоцирует коммуникативный дискомфорт, формирует дополнительные взаимные угрозы для безопасности участников движения, а также перерождает философию городского общества из общественного в индивидуальную, частную, автономную [12].

Ремарка: Последствия городской индивидуализации требуют более серьезного и глубокого изучения в философском, социальном, политическом и правовом аспектах. Тенденции городской автономизации имеют корни не только в технологическом, градостроительном, территориальном, экономическом и социо - культурном аспектах. Важное общественное значение имеют скрытые тенденции психологической трансформации общества, вызванные виртуализацией многих процессов интернет - технологиями и последствиями психологической общественной травмы, сформированной эпидемией «Ковид».

Увеличение спроса и требований в обществе по скорости доставки товаров, вынуждает доставщиков пользоваться инфраструктурой дорог и улиц, что кратно увеличивает риск инцидентности, а также создает предпосылки психологического замедления движения. А учитывая уровень логистической ниши сферы доставки и удельный вес от совокупного количества перевезенных пассажиров общественным транспортом, становится очевидным, что без системного управления находится сфера с более чем 10% весом.

Имея дело с самовольным сервитутом тротуаров и проезжих частей со стороны микротранспорта, последующее наблюдение за нерегулируемым процессом не допустимо [13]. Потребуется создание обособленной отраслевой институализации, обеспечивающей, как нормативное регулирование, так и реализацию инфраструктурных решений.

Запретительные императивы уже не в состоянии вернуть мобильный баланс в первоначальный вид. Для решения этой многофакторной задачи потребуется комплекс государственных мер.

Автомобилей меньше не становится, а вот лица, управляющие средствами индивидуальной мобильности, множатся в геометрической прогрессии. Скоро выделенные полосы не будут справляться с количеством желающих прокатиться на электросамокатах [11].

Выводы

Динамичный рост численности городов - миллионников и сервисного запроса на скорость, время и автономность перемещения сформировали тенденциозные необратимые изменения структуры городской мобильности.

Растущая система индивидуального мобильного транспорта свидетельствует о необходимости научного исследования многофакторных динамических систем городской мобильности.

Актуальным становится вопрос формирования методологических основ новой отрасли транспортной мобильности.

Возникающий диспаритет пешеходной и индивидуальной транспортной мобильности требует новых методов гармонизации транспортного спроса и инфраструктурных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Города РФ. Городская экономика для практиков. Учебник. Москва: Просвещение, 2024. 536 с.
2. Донченко В.В. Устойчивые городские транспортные системы: изменение парадигмы планирования и развития городского транспорта: учебник. Москва: Агентство РАДАР, 2023. 402 с.
3. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям [Электронный ресурс] / URL: www.rosstat.gov.ru/compendium/document/13282.
4. Росстат назвал долю пользующихся общественным транспортом россиян. [Электронный ресурс] / URL: www.rbc.ru/rbcfreenews/6145c6ea9a79475e69e20fca.
5. Транспорт в России. 2024: Стат.сб. / Росстат. М., 2024. 100 с.
6. Транспорт в России. 2018: Стат.сб. / Росстат. Т65. М., 2018. 101 с.
7. В России число поездок на прокатных электросамокатах в 2023 году выросло вдвое [Электронный ресурс] / URL: www.tass.ru/ekonomika/19298425.
8. Эрдман Ксения. Основные цифры сезонов 2020-2023 [Электронный ресурс] / URL: https://2023.transweek.digital/upload/iblock/993/qnwlpn5i44adthx8c7ly04okfd8dpf4i/Erdman_Kseniya.pdf.
9. Минпромторг счел помехой курьеров, отучивших россиян ходить по магазинам [Электронный ресурс] / URL: www.rbc.ru/economics/02/12/2024/674d9a619a7947017f6f3e17.
10. Запрос: Составь сравнительную таблицу плотности велодорожек по странам мира [Электронный ресурс] / URL: <https://chat.deepseek.com/a/chat/s/f0d47be4-fe4a-4ff9-9aab-fc9c657d69c7>.
11. Ковалева Л. Куда катимся? // Автомобильные дороги. 2025. №2. С. 60-61.
12. Власов В.М., Богумил В.Н., Байтулаев А.М. Цифровая инфраструктура и телематические системы контроля работ по содержанию автомобильных дорог: Учебное пособие. Москва: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2021. 229 с. DOI: 10.12737/1014643 EDN VHZXBQ.
13. ГОСТ ISO 3745-2014. Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Москва: Стандартинформ, 2015. 43 с.
14. Абдуллаев У.М. Методы и алгоритмы обработки звуковых сигналов // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №6. С. 25-40.
15. Давлатова Ф.И. Оптимальная квадратурная формула для приближенного вычисления интегралов Фурье // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2022. №S5/1(44). С. 73-83. EDN ITXHNJY.

Еремин Сергей Васильевич

Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации

Адрес: 103265, Россия, г. Москва, Георгиевский пер., 2

Д.т.н., депутат Государственной Думы

E-mail: 140576@mail.ru

S.V. EREMIN

PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF TRANSPORT MOBILITY OF THE POPULATION

***Abstract.** The article discusses the issues and trends of changing the totality of means and methods of movement within urban spaces. Urban transport mobility has been entering a stage of active transformation in recent years, significantly expanding the range of ways and means of intra-urban move-*

ment. The emergence of new mobile devices, mainly for personal use, creates new challenges for the harmonization of multifactorial systems of urban functioning. These challenges to the transformation of urban mobility create prerequisites for the formation of a separate mobile policy based on the management of a range of transport services.

Keywords: transport mobility of the population, range of transport services, urban mobility, harmonization of multifactor systems, mobile policy, transformation of passenger flows, individual transport mobility

BIBLIOGRAPHY

1. Goroda RF. Gorodskaya ekonomika dlya praktikov. Uchebnik. Moskva: Prosveshchenie, 2024. 536 s.
2. Donchenko V.V. Ustoychivye gorodskie transportnye sistemy: izmenenie paradigmy planirovaniya i razvitiya gorodskogo transporta: uchebnik. Moskva: Agentstvo RADAR, 2023. 402 s.
3. Chislennost' naseleniya Rossiyskoy Federatsii po munitsipal'nym obrazovaniyam [Elektronnyy re-surs] / URL: www.rosstat.gov.ru/compendium/document/13282.
4. Rosstat nazval dolyu pol'zuyushchikhsya obshchestvennym transportom rossiyan. [Elektronnyy resurs] / URL: www.rbc.ru/rbcfreeneews/6145c6ea9a79475e69e20fca.
5. Transport v Rossii. 2024: Stat.sb. / Rosstat. M., 2024. 100 s.
6. Transport v Rossii. 2018: Stat.sb. / Rosstat. T65. M., 2018. 101 s.
7. V Rossii chislo poezdok na prokatnykh elektrosamokatakh v 2023 godu vyroslo vdvoe [Elektronnyy resurs] / URL: www.tass.ru/ekonomika/19298425.
8. Erdman Kseniya. Osnovnye tsifry sezonov 2020-2023 [Elektronnyy resurs] / URL: https://2023.transweek.digital/upload/iblock/993/qnwlpn5i44adthx8c7ly04okfd8dpf4i/Erdman_Kseniya.pdf.
9. Minpromtorg schel pomekhoy kur'erov, otuchivshikh rossiyan khodit' po magazinam [Elektronnyy re-surs] / URL: www.rbc.ru/economics/02/12/2024/674d9a619a7947017f6f3e17.
10. Zpros: Sostav' sravnitel'nyu tablitsu plotnosti velodorozhek po stranam mira [Elektronnyy resurs] / URL: <https://chat.deepseek.com/a/chat/s/f0d47be4-fe4a-4ff9-9aab-fc9c657d69c7>.
11. Kovaleva L. Kuda katimsya? // Avtomobil'nye dorogi. 2025. №2. S. 60-61.
12. Vlasov V.M., Bogumil V.N., Baytulaev A.M. Tsifrovaya infrastruktura i telematicheskie sistemy kontrolya rabot po sodержaniyu avtomobil'nykh dorog: Uchebnoe posobie. Moskva: OOO "Nauchno-izdatel'skiy tsentr INFRA-M", 2021. 229 s. DOI: 10.12737/1014643 EDN VHZXBQ.
13. GOST ISO 3745-2014. Akustika. Opredelenie urovney zvukovoy moshchnosti i zvukovoy energii istochnikov shuma po zvukovomu davleniyu. Moskva: Standartinform, 2015. 43 s.
14. Abdullaev U.M. Metody i algoritmy obrabotki zvukovykh signalov // Byulleten' nauki i praktiki. 2020. T. 6. №6. S. 25-40.
15. Davlatova F.I. Optimal'naya kvadrurnaya formula dlya priblizhennogo vychisleniya integralov Fur'e // Problemy vychislitel'noy i prikladnoy matematiki. 2022. №S5/1(44). S. 73-83. EDN ITXHJY.

Eremin Sergei Vasilievich

The State Duma

Adress: 103265, Russia, Moscow, Georgievski st., 2

Doctor of Technical Sciences

E-mail: 140576@mail.ru

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Научная статья

УДК 621.113

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-78-86

Е.Н. ГРЯДУНОВА, А.В. ГОРИН, И.В. РОДИЧЕВА, О.А. АКИМОЧКИНА

ВИДЫ МОДЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Аннотация. В статье рассмотрены схемы и математические модели транспортного средства. Проведен сравнительный анализ представленных динамических моделей движения автомобиля и сделан вывод об использовании их в образовательном процессе для студентов автотранспортных специальностей. Изучен теоретический материал и наработки ведущих российских ученых по созданию моделей автотранспортного средства. Проведен анализ схем, математических моделей, алгоритмов решения уравнений динамики движения колесного механизма и выбраны оптимальные варианты для использования в учебном процессе. Представлены методы классической ньютоновской механики, теория анализа машин и механизмов, теория решения дифференциальных уравнений и элементы математической статистики.

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

Введение

В Распоряжении Правительства РФ от 21 декабря 2021 г. №3744-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли РФ до 2030 г.» отмечена необходимость развивать технологии пространственного анализа и моделирования, так же технологии информационного моделирования. Введение элементов математического, информационного и компьютерного моделирования в образовательный процесс является актуальной педагогической задачей.

Современное транспортное средство представляет собой сложную механическую конструкцию, содержащую систему электрооборудования и элементы искусственного интеллекта. Задача разработчиков не только реализовать в конструкции заданную скорость движения машины, но разработать систему управления, обеспечивающую безопасность и комфорт водителя и пассажиров [1, 2]. Кроме того, эксплуатация транспортного средства требует постоянного мониторинга его технического состояния. Создание установок для диагностики узлов автомобильного транспорта сложная и многоуровневая задача. Первым этапом, при разработке или модернизации транспортного средства, а также ремонтных или испытательных установок является создание математической модели машины и визуализация результата моделирования. Объективная потребность в инженерах способных работать с математическими моделями и использовать средства современных информационно-коммуникационных технологий ставит перед преподавательским составом ВУЗа введение междисциплинарных взаимодействий в образовательный процесс. Ознакомление студентов, обучающихся на транспортных направлениях подготовки, с видами математических моделей транспортного средства становится необходимостью. Существует ряд теоретических работ посвященных созданию математических моделей транспортного средства [3, 4]. Цель настоящей работы провести сравнительный анализ динамических моделей, принятых ограничений, способов решения математической интерпретации и методов визуализации результатов моделирования.

Материал и методы

В процесс компьютерного моделирования реальное транспортное средство - автомобиль, автобус, грузовик и т.п. представляется в виде структурной схемы, состоящей из абсолютно жестких тел, соединенных подвижными и упругими элементами. Разработанная

структурная схема описывается математическими уравнениями, то есть составляется математическая модель данного транспортного средства. Если полученная система уравнений не решается аналитически, то составляется программа ЭВМ, реализующая алгоритм решения [5]. На рисунке 1 представлена схема организации компьютерного моделирования транспортного средства. Теоретические исследования подразумевают изучение кинематики и динамики движения твердого тела и системы твердых тел, применительно к транспортному средству. Структурный анализ модели состоит в выборе существующей или создании новой схемы всего автомобиля или его исследуемой части. От выбора структурной схемы будет зависеть вид математической модели, а значит и алгоритм решения составленных уравнений. Для оценки адекватности разработанной математической модели проводится вычислительный эксперимент и интерпретация результатов.

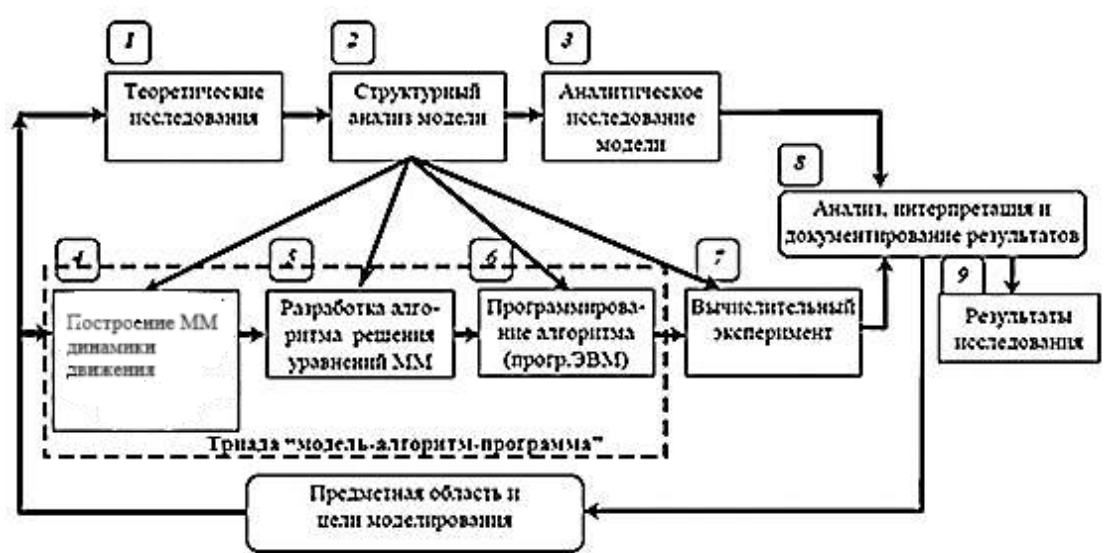


Рисунок 1 – Схема организации процесса моделирования транспортного средства

Таким образом, обучающий для составления упрощенной схемы автотранспортного средства должен знать: методы структурного анализа механизма, теорию поступательного, вращательного и плоскопараллельного движения твердого тела. Для составления уравнений, описывающих движения твердого тела – общие законы динамики твердого тела и основные теоремы динамики., аналитическую механику. Для оценки адекватности разработанной математической модели - математическую статистику, методы верификации математической модели. Составление алгоритма решения на ЭВМ требует знаний по основам информатики и программированию.

Теория

Самая простая структурная модель транспортного средства, имитирующая динамику движения автомобиля, представляет собой плоскую модель, состоящую из твердого тела на четырех колесах. Причем, колеса вращаются в параллельных плоскостях с одинаковой угловой скоростью. Такая модель описывается системой двух дифференциальных уравнений: поступательное движение центра масс автомобиля относительно двух взаимно-перпендикулярных осей, лежащих в горизонтальной плоскости. Вращательное движение колес определяется через поступательную скорость машины, относительно мгновенного центра скоростей [6]. Таким образом, для моделирования блока управляющих сигналов достаточно найти зависимость между изменением поступательной скорости, углов поворотов колес и рулевым управлением.

Более распространенной и адекватной является велосипедная модель транспортного средства (рис. 2), описанная в литературе [7, 8]. В данной модели линейные скорости центра масс автомобиля и задних колес векторно равны, поворачиваются только передние колеса [9]. Велосипедная модель используется в алгоритмах работ систем безопасности для прогно-

зирования движения и создания законов управления автомобилем. На основе велосипедной модели корпорацией MITSUBISHI MOTORS была разработана и внедрена система курсовой устойчивости Super All Wheel Control (S-AWC). В работах С.Н. Кина, Д. Дж. Кшули и Р.А. Мусарского исследуется устойчивость движения автомобиля, управляемого человеком-оператором. Колеса, находящиеся на одной оси, разделенный колесной базой, двигаются плоскопараллельно. При прямолинейном движении машины данная модель описывается системой трех дифференциальных уравнений, согласно закону Ньютона [10]. Первые два — это движение центра масс твердого тела, относительно осей x и y , третье уравнение - вращение колес вокруг своей оси.

$$\begin{aligned} m_x \ddot{x} &= \sum_{i=1}^n R_{ix}^e + \sum_{i=1}^n R_{ix}^n; \\ m \ddot{y} &= \sum_{i=1}^n R_{iy}^e + \sum_{i=1}^n R_{iy}^n; \\ J_z \ddot{\phi} &= \sum_{i=1}^n M_{iz}^e + \sum_{i=1}^n M_{iz}^n, \end{aligned} \quad (1)$$

где m – масса автомобиля, кг;

J_z – осевой момент инерции колес, кгм^2 ;

R_{ix}^e – проекция внешних сил на ось x ;

R_{ix}^n – проекция сил инерции на ось x ;

R_{iy}^e – проекция вектора внешних сил на ось y ;

R_{iy}^n – проекция сил инерции на ось y ;

M_{iz}^e – момент внешних сил относительно оси z ;

M_{iz}^n – момент внешних сил относительно оси z .

В уравнения входят силы и моменты сил, действующие на транспортное средство [11]. Необходимо учесть движущие силы, силы сопротивления, силы инерции и соотношение этих сил. К силам сопротивления относятся: сила сопротивления воздуха, продольная реакция на передние ведомые колеса, сила сопротивления поступательному разгону автомобиля, продольная сила в сцепном устройстве, сила сопротивления грунта. Движущая сила выражается через тяговой момент двигателя. Решение данных уравнений путем интегрирования по времени дает функции изменения продольной и боковой скорости автомобиля и угловой скорости вращения колес. При повторном интегрировании получаем уравнения координаты и угла поворота, то есть функцию движения машины по дороге. От характера силовых факторов, учтенных в математической модели, зависит сложность дифференциальных уравнений и методы его решения.

Криволинейное движение описывается уравнениями Лагранжа 2-ого рода или уравнениями Аппеля. Для велосипедной модели транспортного средства математическая модель с использованием уравнения Лагранжа второго рода имеет вид:

$$A(q) = g(q, \dot{q}) + Q^e(q, \dot{q}, t) + B^T P,$$

где A – матрица инерционных коэффициентов;

q – обобщенное перемещение;

$g(q, \dot{q})$ – вектор, отвечающий символом Кристоффеля и потенциальным силам;

Q^e – вектор обобщенных внешних сил;

$B^T P$ – вектор касательных составляющих контактных сил.

Таким образом, одна и та же структурная модель описывается разными математическими моделями и зависит от выбора кинематических параметров движения.

Схема четырехколесной модели представлена на рисунке 3. Она состоит из подрессоренной массой корпуса и четырьмя неподрессоренными массами колес [12]. В этой модели, так же как и в велосипедной центр масс транспортного средства и корпуса совпадают. Крепление колеса к корпусу моделируется вязко-упругим элементом. Движение происходит в горизонтальной плоскости, угол развала и схождения колес равны нулю.

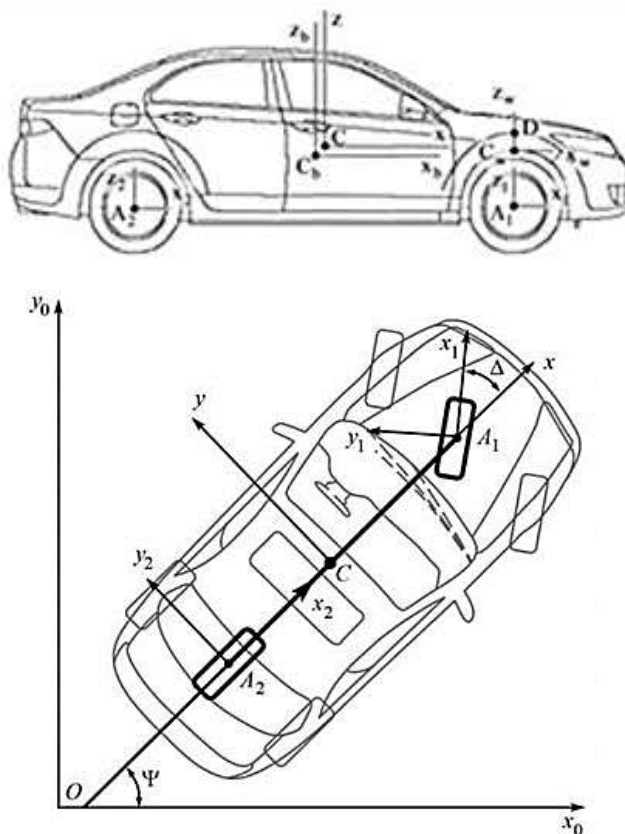


Рисунок 2 – Велосипедная модель транспортного средства

Рассматривается плоское движение тела: вводятся неподвижная система координат и подвижная, приложенная в центре масс автомобиля и двигающаяся вместе с корпусом. При использовании классической Ньютонской механики, четырехколесная модель транспортного средства описывается шестью дифференциальными уравнениям:

$$\begin{aligned} m_x \ddot{x} &= \sum_{i=1}^n R_{ix}^e + \sum_{i=1}^n R_{ix}^n; \\ m \ddot{y} &= \sum_{i=1}^n R_{iy}^e + \sum_{i=1}^n R_{iy}^n; \\ J_{z1} \ddot{\beta}_1 &= \sum_{i=1}^n M_{iz1}^e + \sum_{i=1}^n M_{iz1}^n; \\ J_{z2} \ddot{\beta}_2 &= \sum_{i=1}^n M_{iz2}^e + \sum_{i=1}^n M_{iz2}^n; \\ J_{z1} \ddot{\beta}_3 &= \sum_{i=1}^n M_{iz3}^e + \sum_{i=1}^n M_{iz3}^n; \\ J_{z1} \ddot{\beta}_4 &= \sum_{i=1}^n M_{iz4}^e + \sum_{i=1}^n M_{iz4}^n. \end{aligned}$$

Решение полученной системы уравнений представляет сложную задачу и часто не имеет аналитического решения. В этом случае используется метод численной оптимизации, который можно реализовать с помощью компьютерных программ.

Исследование и сравнение результатов математического моделирования транспортного средства при использовании велосипедной модели и четырёхколёсной для установившейся скорости движения показал: рассчитанные угол крена, угловые скорости колес, положение продольно оси, имеют приемлемые погрешности [13]. При низком уровне сцепления колес с дорогой (практически без проскальзывания и торможения) различия в поведении велосипедной модели и четырехколесной не велики. Поэтому, в учебном процессе достаточно рассмотреть велосипедную модель транспортного средства и методы его математического моделирования [14].

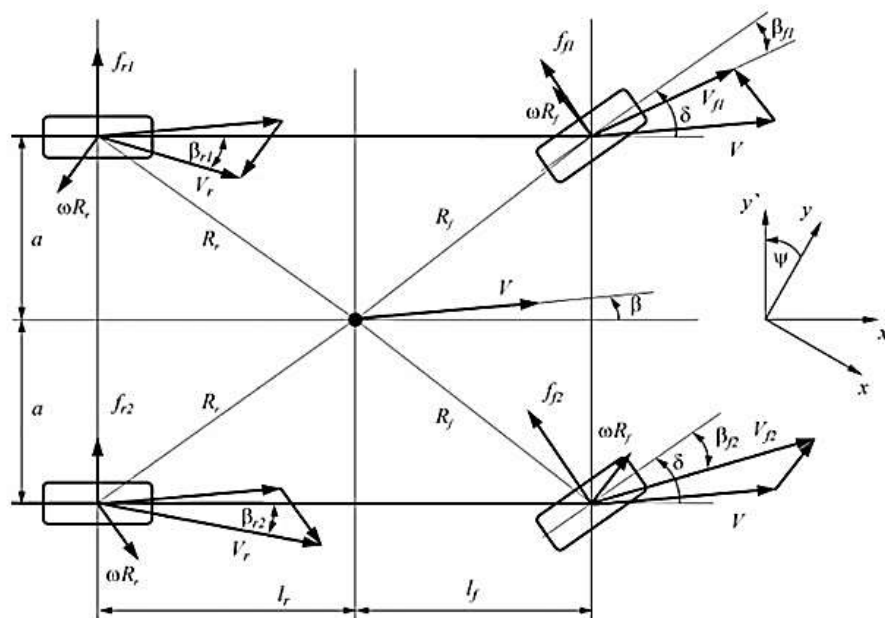


Рисунок 3 – Четырехколесная модель транспортного средства

При изучении плоскопараллельного движения в теоретической механике рассматриваются частные случаи определения мгновенного центра скоростей: движение без проскальзывания, с проскальзыванием колес и с торможением. В первом случае движение системы описывается негломной моделью [15]. Однако, студентам обучающимся на транспортных направления подготовки необходимо рассмотреть еще несколько случаев движения: жесткого колеса с деформируемой опорной поверхностью, деформируемого колеса с деформируемой опорной поверхностью (рис. 4).

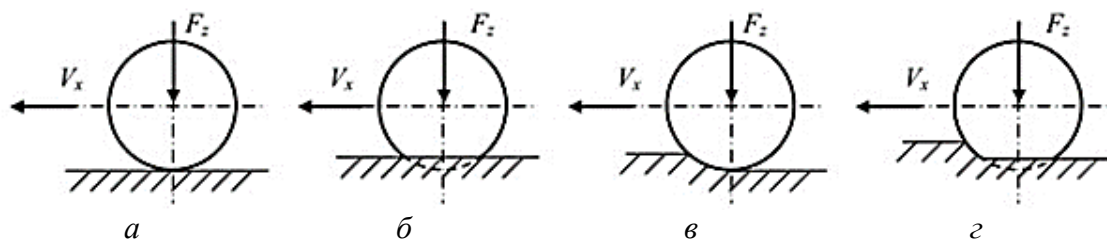


Рисунок 4 – Виды взаимодействия колес с опорной поверхностью:

a - жесткого колеса с жесткой опорной поверхностью; $б$ - деформируемого колеса с жесткой опорной поверхностью; $в$ - жесткого колеса с деформируемой опорной поверхностью; $г$ - деформируемого колеса с деформируемой опорной поверхностью

В последних случаях возникают дополнительные силы сопротивления, которые необходимо учитывать при создании динамической модели движения транспортного средства. При составлении математических уравнений учитывается кулоновское трение и поликомпонентная сила сухого трения F . Журавлева, учитывающей скольжение и верчение колёс относительно опорной плоскости. Математическая модель в этом случае содержит голомные связи [16]. Для обоснования системы с голомными связями пользуются методами фракционного анализа и теории сингулярных возмущений.

От цели и поставленной задачи зависит выбор факторов, влияющих на динамику движения транспортного средства. Необходимо выбрать существенные и определить диапазон их изменения. Например, для исследовать тягово-скоростных и тормозных свойства автомобиля при данных дорожных покрытиях модель должна учитывать трибологические характеристики места контакта колеса с дорогой, механические характеристики материала из кото-

рого изготовлена шина, температуру. От поставленной цели будут зависеть допущения принятые при создании модели, а значит сложность математических уравнений и методы их решений.

Не менее важным этапом моделирования является **оценка адекватности** разработанной модели и интерпретация полученных результатов [17]. Необходимо провести экспериментальные исследования. Обработать результаты эксперимента: представить их в виде таблиц, графиков. Сравнение экспериментальных и теоретических исследований проводятся методами корреляционного или регрессионного анализа. При достаточно большом расхождении результатов математического моделирования и экспериментальных данных необходима корректировка математической модели.

Визуализация результатов процесса динамического моделирования представляет собой не простую задачу: отсутствие универсальных стандартов затрудняет сравнительный анализ разработанных моделей. Результаты математического моделирования можно представить в виде графиков, таблиц и диаграмм. Современные компьютерные программы позволяют имитировать движение транспортного средства методами компьютерной графики. Это самый оптимальный способ визуализации процесса моделирования динамики движения транспортного средства. Меняя входные параметры, мы можем непосредственно на экране монитора увидеть поведение машины – его движение и проводить анализ и корректировку его динамических характеристик [18]. Для разработки и реализации визуализатора движения транспортного средства необходимо выбрать язык программирования, среда программирования и алгоритм.

Моделирование транспортного средства позволяет создавать средства активной безопасности - интеллектуальные системы, такие как антиблокировочная и антипробуксовочная системы, система курсовой устойчивости, электронная система блокировки дифференциала [19].

Динамическая модель транспортного средства позволяет исследовать изменение скорости машины, угла наклона происходящих под влиянием внешних сил – движущими силами сопротивления, а также инерционными силами и моментами. На сегодняшний день существует значительное количество математических приложений, представленных в виде специализированных математических пакетов (МП), таких как MatLab, MathCad, Math, Mathematica, Maple и др. Помимо специализированных МП, инженерами применяется такое специализированное программное обеспечение, как системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированное рабочее место (АРМ) инженера [20, 21].

Результаты и обсуждение

Автотранспортное средство, в настоящее время представляет собой сложный мехатронный объект, подвергающийся постоянному совершенствованию. Для его конструкторской разработки, эксплуатации и ремонта требуются специалисты, знающие математику, общетехнические дисциплины, специальные дисциплины, программирование и информатику. Интегральный процесс обучения подразумевает в одном проекте соединение знаний и умений, приобретенных студентами за время учебы в ВУЗе. Моделирование динамики движения автотранспортного средства включает в себя: разработку упрощенной механической схемы; выбор исследуемых кинематических или силовых характеристик; определение допущений и их границ; написание математических уравнений; выбор метода решения уравнений и непосредственное решение математической модели; представление результатов моделирование; проведение экспериментальных исследований; сравнение результатов теоретических результатов с экспериментальными данными. На основе динамической модели движения транспортного средства созданы системные функции автомобиля такие как Электронные программы устойчивости (ESP), косвенные Системы мониторинга давления воздуха в шине (TPMS), системы мониторинга трения дорожной шины.

Выводы

Ведение понятий моделирования транспортного средства в учебный процесс открывает широкие возможности для оценки параметров движения колесных машин как на стадии их проектирования, так и в период эксплуатации. Обеспечивается междисциплинарный под-

ход образования: четко прослеживается связь между специальными транспортными дисциплинами, общетехническими, математикой и программированием. Разработка информационной модели автомобиля позволяет осуществить активные алгоритмы управления транспортным средством и создание активных средств безопасности. Точность получаемых результатов при моделировании реальных транспортных средств зависит от качества принимаемых при расчете допущений, расчетных моделей, дифференциальных уравнений, методов их решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ясюкович Э.И. Имитационное моделирование курсового движения трехосного автомобиля со всеми управляемыми колесами // Вестник Белорусско-Российского университета №10 (23). 2009. С. 6-15.
2. Кулагин В.А. Разработка комплекса математических моделей подвески легкового автомобиля для анализа усталостной долговечности // Известия МГТУ «МАМИ». 2021. Т. 15. №4(50). С. 32-42.
3. Кравец В.Н., Р.А. Мусарский. Математическая модель сочленённого автотранспортного средства // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Наземные транспортные системы. 2010. С.131-137.
4. Высоцкий М.С., Дубовик Д.А. Математическое моделирование криволинейного движения колесных машин // Вестник Белорусско-Российского университета №2(19). 2008. С.6-15.
5. Новожилов И.В., Кручинин П.А. Модель движения автомобиля как основа математического обеспечения тренажерного комплекса водителя // Мехатроника, автоматизация, управление. № 6. 2007. С. 31-36.
6. Беляев А.Н. и др. Исследование движения колесной машины по криволинейной траектории // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021 Т. 14. №4(71).
7. Забусик М.А., Федин А.П. Компьютерное моделирование в реальном времени движения автомобильного колеса в тормозном режиме с применением не четкой логики // Молодой ученый. №20(362). 2021. С. 83-88.
8. Дубовик Б.А. Обеспечение управляемости наземных машин посредством регулирования тяговых усилий колес // Вестник БНТУ. № 6. 2006. С. 51-56.
9. Чикрин Д.Е. и др. Виртуальное физическое и визуальное моделирование работы механических элементов технических систем // Перспективы науки. №3(102). 2018. С. 25-32.
10. Кравец В.Н. Теория автомобиля: учебник. Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. 2-е изд., переработ. 2013. 413 с.
11. Копров В.М., Сапир Е.В. Интеграционные процессы в инновационной среде высшей школы // Интеграция образования. 2016. Т. 20. №3(84). С. 382-392.
12. Болдовская Т.Е., Рождественская Е. А. Задачи математического моделирования транспортных потоков в курсе математики в техническом вузе // Наука XXI века: опыт прошлого – взгляд в будущее: материалы II Международной научно-практической конференции. Омск: СибАДИ. 2016. С. 7-12.
13. Мешковский Е.О., Курмашев А.Д. Построение математической модели четырёхколёсного мобильного робота с двумя дифференциальными приводными блоками // Инновации и инвестиции. 2020. С. 113-117.
14. Воркель А.А., Ткачев С.Б. Моделирование процесса путевой стабилизации колёсного робота // Инженерный вестник. №6. Электронное издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. С. 501-517.
15. Павлюковец С.А. [и др.] Алгоритмика управления четырехколесными мобильными роботами // Сборник научных статей IX Международной научно-практической конференции. Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. 2023. С. 121-131.
16. Беляков В.В. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева / В.В. Беляков [и др.] 2013. С. 38-46.
17. Влахова А.В., Новадерова А.П. Модель переменной структуры для исследования заноса четырехколесного аппарата с пробуксовывающими колесами [Электронный ресурс] / Вестник Московского университета. Серия 1. Математика. Механика 2024. №3. С.40-45. URL: <https://cyberleninka.ru>.
18. Абакумов А.М., Горячкин А.А., Овсянников В.Н. Математические модели и структуры системы стабилизации поперечной устойчивости автомобиля // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2023. Т. 31. №1(77). С. 60-75.
19. Дмитриева А.С., Тимофеев В.С., Енаев А.А. Математическая модель торможения автомобиля при возникающих колебаниях [Электронный ресурс] / Современные инновации в технике и производстве: Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, серия: Автомобильный транспорт. 2021. С. 254-258. URL: <https://ya.ru/search>.
20. Куров А.В., Медведев В.О., Соломатина Д.И. Визуализация движения автомобиля в горку в соответствии с разработанной математической моделью импульсного управления двигателем // Символ науки: международный научный журнал. 2017. Т. 2. №4. С. 76-82.
21. Галушак Д.А. Проверка адекватности математической модели системы «автомобиль с дизельным двигателем - дорога - окружающая среда» // Научные труды Винницкого национального технического универси-

тета. 2014. №4. С. 11-17.

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: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
К.т.н., доцент, кафедры мехатроники, механики и робототехники
E-mail: gorin57@mail.ru

Родичева Ирина Владимировна

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

Акимочкина Ольга Александровна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Студент
E-mail: tvk5876@rambler.ru

E.N. GRYADUNOVA, A.V. GORIN, I.V. RODICHEVA, O.A. AKIMOCHKINA

TYPES OF MODELS USED IN STUDYING THE DYNAMICS OF VEHICLE MOVEMENT IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Abstract. *The article considers the schemes and mathematical models of the vehicle. A comparative analysis of the presented dynamic models of vehicle motion is carried out and a conclusion is made about their use in the educational process for students of motor transport specialties. The theoretical material and developments of leading Russian scientists on the creation of models of vehicles are studied. The analysis of schemes, mathematical models, algorithms for solving the equations of the dynamics of the wheel mechanism is carried out and the optimal options for use in the educational process are selected. The methods of classical Newtonian mechanics, the theory of analysis of machines and mechanisms, the theory of solving differential equations and elements of mathematical statistics are presented.*

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

BIBLIOGRAPHY

1. YAsyukovich E.I. Imitatsionnoe modelirovanie kursovogo dvizheniya trekhosnogo avtomobilya so vsemi upravlyaemyimi kolesami // Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta №10 (23). 2009. S. 6-15.
2. Kulagin V.A. Razrabotka kompleksa matematicheskikh modeley podveski legkovogo avtomobilya dlya analiza ustalostnoy dolgovechnosti // Izvestiya MGTU «MAMI». 2021. T. 15. №4(50). S. 32-42.
3. Kravets V.N., R.A. Musarskiy. Matematicheskaya model' sochlenionnogo avtotransportnogo sredstva // Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva. Nazemnye transportnye sistemy. 2010. S.131-137.
4. Vysotskiy M.S., Dubovik D.A. Matematicheskoe modelirovanie krivolineynogo dvizheniya kolesnykh mashin // Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta №2(19). 2008. S.6-15.
5. Novozhilov I.V., Kruchinin P.A. Model' dvizheniya avtomobilya kak osnova matematicheskogo obespecheniya trenazhernogo kompleksa voditelya // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. № 6. 2007. S. 31-36.
6. Belyaev A.N. i dr. Issledovanie dvizheniya kolesnoy mashiny po krivolineynoy traektorii // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021 T. 14. №4(71).
7. Zabusik M.A., Fedin A.P. Komp'yuternoe modelirovanie v real'nom vremeni dvizheniya avtomobil'nogo kolesa v tormoznom rezhime s primeneniem ne chetkoy logiki // Molodoy uchenyy. №20(362). 2021. S. 83-88.
8. Dubovik B.A. Obespechenie upravlyaemosti nazemnykh mashin posredstvom regulirovaniya tyagovykh usiliy koles // Vestnik BNTU. № 6. 2006. S. 51-56.

9. Chikrin D.E. i dr. Virtual'noe fizicheskoe i vizual'noe modelirovanie raboty mekhanicheskikh elementov tekhnicheskikh sistem // Perspektivy nauki. №3(102). 2018. S. 25-32.
10. Kravets V.N. Teoriya avtomobilya: uchebnik. Nizhniy Novgorod: Nizhegorod. gos. tekhn. un-t im. R.E. Alekseeva. 2-e izd., pererabot. 2013. 413 s.
11. Koprov V.M., Sapir E.V. Integratsionnye protsessy v innovatsionnoy srede vysshey shkoly // Integratsiya obrazovaniya. 2016. T. 20. №3(84). S. 382-392.
12. Boldovskaya T.E., Rozhdestvenskaya E. A. Zadachi matematicheskogo modelirovaniya transportnykh potokov v kurse matematiki v tekhnicheskoy vuzе // Nauka XXI veka: opyt proshlogo - vzglyad v budushchee: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Omsk: SibADI. 2016. S. 7-12.
13. Meshkovskiy E.O., Kurmashev A.D. Postroenie matematicheskoy modeli chetyriokhkoliynogo mobil'nogo robota s dvumya differentsial'nymi privodnymi blokami // Innovatsii i investitsii. 2020. S. 113-117.
14. Vorkel' A.A., Tkachev S.B. Modelirovanie protsessa putevoy stabilizatsii koliosnogo robota // Inzhenernyy vestnik. №6. Elektronnoe izdatel'stvo MGTU im. N.E. Bauman. 2015. S. 501-517.
15. Pavlyukovets S.A. [i dr.] Algoritmika upravleniya chetyrekhkolesnymi mobil'nymi robotami // Sbornik nauchnykh statey IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy universitet informatiki i radioelektroniki. 2023. S. 121-131.
16. Belyakov V.V. Kontseptsiya podvizhnosti nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva / V.V. Belyakov [i dr.] 2013. S. 38-46.
17. Vlachova A.V., Novaderova A.P. Model' peremennoy struktury dlya issledovaniya zanosa chetyrekhkolesnogo apparata s probuksovyvayushchimi kolesami [Elektronnyy resurs] / Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 1. Matematika. Mekhanika 2024. №3. S.40-45. URL: <https://cyberleninka.ru>.
18. Abakumov A.M., Goryachkin A.A., Ovsyannikov V.N. Matematicheskie modeli i struktury sistemy stabilizatsii poperechnoy ustoychivosti avtomobili // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2023. T. 31. №1(77). S. 60-75.
19. Dmitrieva A.S., Timofeev V.S., Enaev A.A. Matematicheskaya model' tormozheniya avtomobilya pri voznikayushchikh kolebaniyakh [Elektronnyy resurs] / Sovremennye innovatsii v tekhnike i proizvodstve: Sbornik materialov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, seriya: Avtomobil'nyy transport. 2021. S. 254-258. URL: <https://ya.ru/search>.
20. Kurov A.V., Medvedev V.O., Solomatina D.I. Vizualizatsiya dvizheniya avtomobilya v gorku v sootvetstviy s razrabotannoy matematicheskoy model'yu impul'snogo upravleniya dvizhitelem // Simvol nauki: mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. 2017. T. 2. №4. S. 76-82.
21. Galushak D.A. Proverka adekvatnosti matematicheskoy modeli sistemy «avtomobil' s dizel'nyim dvigatel' - doroga - okruzhayushchaya sreda» // Nauchnye trudy Vinnitskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. №4. S. 11-17.

Gradynova Elena Nikolaevna

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

Gorin Andrei Vladimirovich

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

Roditheva Irina Vladimirovna

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

Akimochkina Olga Aleksandrovna

Orel State University
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Student
E-mail: tvk5876@rambler.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi: 10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-87-92

Ю.В. ТРОФИМЕНКО, Р.В. ФИЛИППОВА, И.А. ФЕНЬКОВ

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕКТРОБУСНОГО ТРАНСПОРТА В МЕГАПОЛИСАХ: ПЕРЕХОД НА НИЗКОУГЛЕРОДНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

Аннотация. В статье рассматривается развитие электробусного транспорта, как ключевого элемента модернизации общественного наземного городского транспорта в условиях растущей урбанизации. Анализируется опыт внедрения электробусов в Москве, городах Китая, Канады и Великобритании. Особое внимание уделяется техническим характеристикам современных электробусов, особенностям их обслуживания и зарядной инфраструктуры. Представлены статистические данные о количестве электробусов в различных мегаполисах. Рассматриваются проблемы и перспективы развития электротранспорта в городах с разной плотностью населения и климатическими условиями.

Ключевые слова: автобус, электробус, зарядная станция, экология, выбросы углекислого газа, выбросы парниковых газов

Введение

В условиях растущей урбанизации и необходимости снижения углеродного следа особого внимания заслуживает развитие электротранспорта. Электробусы становятся оптимальным решением для модернизации общественного наземного городского транспорта. Их внедрение способствует улучшению качества воздуха в мегаполисах, снижению уровня шума, а также уменьшению зависимости от ископаемых видов топлива.

Электробус – инновационное транспортное средство с тяговым электроприводом, которое становится все более популярным в крупных городах. Переход с традиционного дизельного топлива на электроэнергию позволяет сократить выбросы парниковых газов и других загрязняющих веществ на улично-дорожной сети городов. По данным ГУП «Мосгортранс» замена только одного маршрутного автобуса на дизельном топливе на электробус позволяет снизить выбросы парниковых газов на 60 т ежегодно.

В данной статье выполнен комплексный анализ практического опыта внедрения и использования электробусов в разных странах с разными природно-климатическими условиями. Информация о технических характеристиках современных электробусов, особенностях их технического обслуживания и зарядной инфраструктуры показывает перспективность данного вида общественного транспорта в мегаполисах будущего.

Материал и методы

В Москве первые электробусы вышли на линию с 1 сентября 2018 года. В настоящее время в столицу поставляют технику улучшенной комплектации, включая адаптивное освещение салона, увеличенный на 18 % передний указатель маршрута, увеличенный запас хода до 80 – 90 км. Вместе с тем, салон электробуса отапливает электрический обогреватель, не влияющий на окружающую среду и поддерживающий оптимальную температуру в салоне.

С 2024 года на линию выходят электробусы (КАМАЗы и ЛиАЗы) в обновленном дизайне, представленные на рисунке 1 и 2 соответственно.

На данный момент Мосгортранс обслуживает электробусы на 12 специализированных площадках. Москва стала первым городом в России, в котором начали строить современные электробусные парки, вместе с тем столица является №1 в Европе по количеству электробусов и входит в число мировых лидеров по развитию и использованию электротранспорта.

Значительным достижением стал запуск в 2022 году парка «Красная Пахра» в Ти-НАО, ставшим не только первым в России, но и крупнейшим в Европе. Благодаря этому пар-

ку экологический транспорт начал работать в Новомосковском и Троицком административных кругах.



Рисунок 1 – КАМАЗ – 6282 (ПАО «КАМАЗ»)



Рисунок 2 – ЛиАЗ – 6274 (группа «ГАЗ»)

В 2023 году на северо-западе Москвы появился парк «Митино», после чего электробусы начали обслуживать 20 столичных районов и 2 подмосковных города. Завершением 2023 года стал запуск третьего инновационного парка – «Салтыковка», обеспечивающего перевозки на востоке Москвы.

Развитие инфраструктуры и поступление новой техники способствует расширению сети электробусных маршрутов. В настоящее время фактическая численность водителей составляет 4060 человек, которые обеспечивают работу свыше 2 300 электробусов, что составляет более 30 % в выпуске, и 192 маршрутов с общей протяженностью маршрутной сети более 2500 км. Среднесуточный пассажиропоток составляет свыше 900 тыс. человек. В перспективе планируется увеличить количество электробусов на более, чем 3500 единиц, что в сумме составит 5900.

Кроме того, успешное внедрение электробусов в городе Москве зависит от соблюдения ключевых принципов и корректного выполнения всех этапов перехода. Например, строительство ультрабыстрых зарядных станций (УБЗС), оптимальный выбор будущего маршрута, формирование и корректировка расписания. Также, важным этапом после запуска электробусного маршрута важно проводить мониторинг по следующим показателям: выполнение транспортной работы, пунктуальность, пассажиропоток и, безусловно, обратная связь от пассажиров.

В то время как Россия активно внедряет электробусы в рамках городских программ, таких как масштабное обновление транспорта, Китай уже несколько лет удерживает статус мирового лидера в этой области. В то время как российские проекты делают упор на импортозамещение и адаптацию к климату, в частности высокая температура в летний период и минусовая в зимний, китайские производители, такие как BYD и Yutong, ориентированы на глобальное распространение, предлагая решения для многих стран.

Теория

Вместе с тем, Китай, обладая крупнейшим парком электробусов в мире, фокусируется на оптимизации цепочек поставок и борьбе с международной конкуренцией. Однако, как и Россия, страна видит в электрификации транспорта путь к снижению экологической нагрузки. Это объединяет их, несмотря на различные темпы и масштабы реализации проектов.

Такие города Китая, как Шэньчжэнь и Пекин, демонстрируют как политика, государственные субсидии и инновационное развитие инфраструктуры могут оптимизировать общественный городской наземный транспорт.

Электробусный парк города Шэньчжэнь, которым управляет Shenzhen Bus Group, яв-

ляется крупнейшим в мире. К 2023 году фактическое количество электробусов насчитывало более 16 тысяч единиц, что, в свою очередь, позволило сократить выбросы углекислого газа на 1,35 млн тон ежегодно [1]. На линию выходят электробусы отечественного производства BYD, представленные на рисунке 3, производитель которых ранее получил государственную поддержку для масштабного производства.



Рисунок 3 – электробус BYD

Инновации в инфраструктуре зарядных устройств Шэньчжэнь позволили решить проблему дальности движения электробусов путем установки 40 тысяч зарядных станций.

Столица Китая – Пекин уделяет приоритетное внимание электробусам для борьбы с хроническим загрязнением воздуха. По состоянию на 2023 год в городе эксплуатируются 12 тысяч электробусов, а к 2025 году планируется заменить все автобусы на электробусы. Кроме того, субси-

дии Пекина направлены как на производителей, так и на операторов, которым предоставляются налоговые льготы и снижение тарифов на электроэнергию для зарядных станций [2].

В городе также были проведены тестирования станций замены аккумуляторов, где заряженные батареи заменяются менее, чем за 10 минут, что приводит к минимальному времени простоя электробуса. Сотрудничество с Государственной сетевой корпорацией обеспечивает стабильность электросети в пиковые часы [3].

Несмотря на то, что вышеуказанные города Китая являются успешными, такие проблемы как высокие первоначальные затраты и перегрузка сети, сохраняются.

В отличие от китайских мегаполисов, где электробусы стали неотъемлемой частью борьбы с загрязнением окружающей среды, города Канады внедряют их как элемент «зеленого» имиджа страны, сочетая с развитием возобновляемых источников энергии и программами снижения углеродного следа. При этом Канада, опираясь на отечественных производителей New Flyer и Lion Electric, сталкивается с проблемами, характерными для стран с низкой плотностью населения: обеспечение зарядной инфраструктуры в удаленных регионах и адаптация техники к экстремальным зимним условиям.

В Канаде находится один из крупнейших парков электробусов в Северной Америке. Например, Транспортная комиссия Торонто (ТТС), оператор общественного транспорта Канады, планирует к 2040 году электрифицировать весь свой парк из 2300 автобусов. По состоянию на 2023 год компания эксплуатирует более 300 электробусов [4].

Суровые зимы и обширная география Канады создают уникальные проблемы для зарядной инфраструктуры. Для решения этой проблемы города внедряют зарядные устройства, оптимизированные для холодной погоды, а также используют интеллектуальные сети. Например, в рамках проекта по электрификации транспорта в Виннипеге для компенсации пикового спроса используются склады, работающие на солнечной энергии, с аккумуляторами [5]. Кроме того, железнодорожная станция в Эдмонтоне оснащена пантографическими зарядными устройствами, позволяющие электробусам зарядиться менее, чем за 10 минут. И Канадский консорциум сыграл важную роль в разработке национальных стандартов. В рамках Панканадского демонстрационного испытания электробусов, в ходе которого были проверены такие технологии, как подзарядка на терминалах [6].

Сельские районы сталкиваются с ограниченным доступом к электросетям. Однако, канадская модель финансирования, стимулы провинций, исследования и разработки частного сектора являются основой для городов по всему миру.

Если Канада делает упор на интеграцию электробусов в стратегии устойчивого развития, сочетая их с возобновляемой энергией и борьбой за углеродную нейтральность, то Великобритания подходит к внедрению электробусов через призму урбанистических реформ и ужесточения экологических стандартов. Города Великобритании фокусируются на снижении уровня выбросов в условиях плотной исторической застройки и роста населения.

В ходе исследования было отмечено, что Великобритания активно сотрудничает с отечественным производителем – Alexandr Dennis, создающие электробусы, адаптированные к узким улицам и левостороннему движению. Хотя, британские города еще не сравнялись по масштабам с китайским парком, они демонстрируют, как согласование политики и государственно – частное партнерство могут ускорить процесс снижения выбросов углекислого газа в атмосферу.

В Великобритании находится самый большой парк электробусов в Западной Европе, насчитывающий по состоянию на 2023 год более 1300 единиц транспортных средств. Стоит отметить, что британские производители, такие как Alexandr Dennis и Wrightbus, доминируют на рынке, поставляя 80 % электробусов Великобритании. Включая двухэтажные водородно – электрические автобусы [7].

Британская сеть зарядных устройств сочетает в себе решения на базе депо и на маршруте. Лондонское депо Northumberland Park Depot, крупнейшее в Европе предприятие по зарядке электронных автобусов, оснащено 104 зарядными устройствами, работающими на 100% возобновляемой энергии [8]. В Ковентри компания National Express в партнерстве с SSE Energy Solutions построила склад солнечных батарей на 130 зарядных устройств [9].

Для решения проблем сельских районов правительство профинансировало установку мобильных зарядных устройств в горной местности.

Великобритания сталкивается с такими препятствиями, как ограниченная пропускная способность электросетей в сельской местности и высокие затраты на электроэнергию. Однако, экономия на электробусах в течение всего срока службы, подчеркивает их экономическую целесообразность [10].

Результаты и обсуждение

Анализ развития электробусного транспорта в крупнейших мегаполисах мира показывает, что данный вид общественного транспорта становится оптимальным решением для модернизации городского транспорта. Внедрение электробусов способствует улучшению экологической ситуации, снижению уровня шума и уменьшению зависимости от ископаемого топлива.

Опыт Москвы демонстрирует успешность масштабного внедрения электробусов в условиях крупного мегаполиса с развитой инфраструктурой. Китайские города, особенно Шэньчжэнь, показывают пример максимально быстрого перехода на электротранспорт с существенным экологическим эффектом.

Канадская модель развития электробусного транспорта демонстрирует возможности адаптации электротранспорта к суровым климатическим условиям и разреженной городской застройке.

Великобритания демонстрирует эффективность государственно-частного партнерства в развитии электротранспорта. Несмотря на существующие проблемы, такие как высокие первоначальные затраты и необходимость развития зарядной инфраструктуры, перспективы дальнейшего развития электробусного транспорта оцениваются, как оптимистичные.

Выводы

Результаты исследования подтверждают, что развитие электробусного транспорта является одним из приоритетных направлений модернизации общественного транспорта в мегаполисах будущего, способствующим решению экологических проблем и повышению качества городской среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Resources Institute – Shenzhen’s Electric Bus Revolution [Электронный ресурс] / URL: <https://www.wri.org/>.
2. Обзор политики Международного энергетического агентства (МЭА), 2023.
3. Обзоры возобновляемой и устойчивой энергетики, 2021. Science Direct.

4. План электрификации транспортной комиссии Торонто: TTC, 2023.
5. Солнечные станции Виннипега: Winnipeg Transit, 2023.
6. Испытания электробусов CUTRIC: CUTRIC, 2021.
7. Лондонский план «Транспорт для автобусов с нулевым уровнем выбросов» [Электронный ресурс], 2023. URL: <https://tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/bus-fleet-electric>.
8. Northumberland Park Depot: «Актуальные новости» [Электронный ресурс], 2023. URL: <https://www.current-news.co.uk/londons-largest-electric-bus-depot>.
9. Центр зарядки на солнечных батареях в Ковентри: «SSE Energy Solutions» [Электронный ресурс], 2023. URL: <https://www.sseenergysolutions.co.uk/news/coventry-electric-bus-depot>.
10. Анализ затрат на весь срок службы: «Carbon Trust» [Электронный ресурс], 2023. URL: <https://www.carbontrust.com/resources/electric-bus-cost-benefit>.
11. Отчет Канадской ассоциации городского транспорта: CUTA, 2022.
12. Сетевые решения Zenobe: «Zenobe Energy» [Электронный ресурс], 2023. URL: <https://www.zenobe.com/uk-bus-projects>.
13. Модернизация сельских электросетей: «ESO» [Электронный ресурс], 2022. URL: <https://www.nationalgrideso.com/electricity-transition/rural-electrification>.
14. Чикрин Д.Е. и др. Виртуальное физическое и визуальное моделирование работы механических элементов технических систем // Перспективы науки. №3(102). 2018. С. 25-32.
15. Копров В.М., Сапир Е.В. Интеграционные процессы в инновационной среде высшей школы // Интеграция образования. 2016. Т. 20. №3(84). С. 382-392.

Трофименко Юрий Васильевич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Инженерно-экологические инновации и комплексная безопасность»

E-mail: ywtrofimenko@mail.ru

Филиппова Римма Владимировна

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); ГУП «Мосгортранс»

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр., 64;

125195, г. Москва, Ленинградское шоссе, 59

К.э.н., советник при ректорате; Старший руководитель проектов службы корпоративной политики

E-mail: filippovaRV@transport.mos.ru

Феньков Иван Алексеевич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Соискатель ученой степени кандидата наук

E-mail: fenkov.ivan@gmail.com

Y.V. TROFIMENKO, R.V. FILIPPOVA, I.A. FENKOV

FOREIGN EXPERIENCE IN THE IMPLEMENTATION OF ELECTRIC BUS TRANSPORT IN MEGACITIES: SWITCHING TO LOW-CARBON VEHICLES

***Abstract:** The article examines the development of electronic transport as a key element of the modernization process of public transport system in the context of growing urbanization. The experience of introducing electric buses in Moscow, cities of China, Canada and the UK is analyzed. Special attention is paid to the technical characteristics of modern electric buses, the specifics of their maintenance and charging infrastructure. Statistical data on the number of electric buses in various megacities is presented. The problems and prospects of electric transport development in cities with different population densities and climatic conditions are considered.*

Keywords: bus, electric bus, charging station, ecology, carbon dioxide emissions, greenhouse gas emissions

BIBLIOGRAPHY

1. World Resources Institute - Shenzhen's Electric Bus Revolution [Elektronnyy resurs] / URL: <https://www.wri.org/>.
2. Obzor politiki Mezhdunarodnogo energeticheskogo agentstva (MEA), 2023.
3. Obzory vozobnovlyаемой i ustoychivoy energetiki, 2021. Science Direct.
4. Plan elektrifikatsii transportnoy komissii Toronto: TTC, 2023.
5. Solnechnye stantsii Vinnipega: Winnipeg Transit, 2023.
6. Ispytaniya elektrobusev CUTRIC: CUTRIC, 2021.
7. Londonskiy plan «Transport dlya avtobusov s nulevym urovnem vybrosov» [Elektronnyy resurs], 2023. URL: <https://tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/bus-fleet-electric>.
8. Northumberland Park Depot: «Aktual`nye novosti» [Elektronnyy resurs], 2023. URL: <https://www.current-news.co.uk/londons-largest-electric-bus-depot>.
9. Tsentri zaryadki na solnechnykh batareyakh v Koventri: «SSE Energy Solutions» [Elektronnyy resurs], 2023. URL: <https://www.sseenergysolutions.co.uk/news/coventry-electric-bus-depot>.
10. Analiz zatrat na ves` srok sluzhby: «Carbon Trust» [Elektronnyy resurs], 2023. URL: <https://www.carbontrust.com/resources/electric-bus-cost-benefit>.
11. Otchet Kanadskoy assotsiatsii gorodskogo transporta: CUTA, 2022.
12. Setevye resheniya Zenobe: «Zenobe Energy» [Elektronnyy resurs], 2023. URL: <https://www.zenobe.com/uk-bus-projects>.
13. Modernizatsiya sel'skikh elektrosetey: «ESO» [Elektronnyy resurs], 2022. URL: <https://www.nationalgrideso.com/electricity-transition/rural-electrification>.
14. Chikrin D.E. i dr. Virtual`noe fizicheskoe i vizual`noe modelirovanie raboty mekhanicheskikh elementov tekhnicheskikh sistem // Perspektivy nauki. №3(102). 2018. S. 25-32.
15. Koprov V.M., Sapir E.V. Integratsionnye protsessy v innovatsionnoy srede vysshey shkoly // Integratsiya obrazovaniya. 2016. T. 20. №3(84). S. 382-392.

Trofimenko Yuri Vasilievich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradskiy prospect, 64
Doctor of technical sciences
E-mail: ywtrofimenko@mail.ru

Filippova Rimma Vladimirovna

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI);
State Unitary Enterprise Mosgortrans
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradskiy prospect, 64
Candidate of Economic Sciences
E-mail: filippovaRV@transport.mos.ru

Fenkov Ivan Alekseevich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradskiy prospect, 64
Candidate of Sciences degree candidate
E-mail: fenkov.ivan@gmail.com

Научная статья

УДК 004.67

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-93-100

Н.А. ЗАГОРОДНИЙ, Н.А. ЩЕТИНИН, Н.М. ЛОЗОВОЙ, А.А. КОНЕВ

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ СБОРА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАТРИЦ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ

Аннотация. В статье авторами рассмотрены различные технические решения, позволяющие собрать информацию о характеристиках транспортного потока. Предложено осуществлять сбор данных транспортных корреспонденций с помощью систем автоматического распознавания государственных регистрационных знаков. Предложено построение качественных матриц корреспонденции и проведен анализ возможных вариантов по поиску и сбору информации для её построения. Выбран WGS 84 в качестве системы координат, базовая карта – OSM в среде QGIS.

Ключевые слова: уличная дорожная сеть, транспортный поток, автомобилизация, сбор данных, система мониторинга

Введение

Рост уровня автомобилизации в РФ повышает возможности транспортной подвижности населения, создает почву для экономического развития страны [1]. В то же время увеличивается нагрузка на существующую улично-дорожную сеть (УДС), что вызывает необходимость её качественной оптимизации [2]. Распространенной практики единичных натурных обследований для сбора данных о характеристиках транспортных потоков (ТП) для последующей разработки и принятия эффективных решений касательно транспортного планирования становится недостаточно [3]. Решением данной проблемы может быть внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в крупных городах и мегаполисах [4].

Материал и методы

Принципы и требования к архитектурам ИТС в нашей стране определены ГОСТ Р 56829-2015 и ГОСТ Р 56294-2014. ИТС требует разработки и внедрения комплексной системы мониторинга, которая способна в постоянном режиме собирать данные транспортной корреспонденции и характеристики транспортных потоков (ТП) [4], что является актуальной задачей.

Характеристики отдельных участков УДС и маршруты движения транспортных средств (ТС) служат основой при разработке высокоточных имитационных транспортных моделей, а также настройке технических средств организации дорожного движения (ТСОДД) [3]. Собираемые данные формируют матрицу корреспонденций (МК) для последующего определения параметров модели. Использование МК при проектировании различных вариантов модернизации транспортных решений, например изменении или реализации нового маршрута движения ТС, является одним из наиболее удобных методов.

Исходя из условий поставленной задачи выбирается период упреждения прогноза, а также необходимая точность матрицы. На рисунке 1 представлены данные, подлежащие сбору и анализу в случае, если моделируются варианты модернизации ТСОДД в пределах конкретного участка [6]. В этом случае зачастую не требуется долгосрочный прогноз, а достаточно краткосрочной экстраполяции наблюдаемых тенденций, но возникают вопросы, связанные с оптимизацией маршрутной сети и сложностью фиксации маршрутов транспортных потоков [7]. При решении подобных задач требуется формирование

качественной матрицы корреспонденций (КМК), отличающейся от простой наличием дополнительной информации о маршрутах.

Теория / Расчет

Для получения базовой информация построения КМК (например, интенсивность, средняя скорость и плотность движения, объем трафика, маршруты движения ТС и др.) нужно решить задачи разработки технологии для получения информации о возможных параметрах, характеризующих дорожное движение транспортных средств (ТС), которые подразумевают использование [8]:

- систем распознавания государственных регистрационных знаков (ГРЗ);
- инструментов обработки данных.



Рисунок 1 – Данные, подлежащие анализу при модернизации ТСОДД

Известны два метода построения КМК: оперативный и неоперативный.

При оперативном методе обработка данных происходит в динамическом режиме. Поток данных постоянно обновляется и дополняется. Данный метод построения КМК позволяет использовать данные в системах мониторинга и оценивать их эффективность.

Неоперативный метод обработки данных основан на работе с собранной базой данных за определенный промежуток времени. Он носит статистический характер, и зачастую работа ведется с неактуальными данными, что не позволяет оперативно реагировать на изменяющуюся ситуацию.

Для формирования оперативной КМК необходимы качественные исходные данные. Для их сбора может использоваться ряд методов (рис. 2). Выбор метода зависит от наличия технических ресурсов и текущих возможностей.



Рисунок 2 – Методы сбора исходных данных для построения оперативной КМК

Каждый метод обладает особенностями, рассмотрим их более подробно.

Системы автоматического распознавания государственных регистрационных знаков (ГРЗ) работают на принципах цифровой обработки изображения ГРЗ. Специализированные комплексы оборудования, установленные на участке УДС, включают видеокамеры и устройства обработки изображений. Также в состав комплекса входит компьютерный блок со специализированным программным обеспечением.

К недостаткам метода можно отнести:

- высокая зависимость от погоды. Осадки и сезонность существенно влияют на точность распознавания ГРЗ;
- необходимость наличия точек подключения к линиям электропередач;
- необходимость доступа к каналам передачи данных;
- зависимость точности распознавания ГРЗ от состава транспортного потока и плотности движения.

Преимущества метода заключаются в:

- широком функционале системы, которая может использоваться для контроля соблюдения ПДД участниками движения;
- высокой точности распознавания ГРЗ на уровне 90-98%. Данный показатель увеличивается с ростом технических возможностей и совершенствованием алгоритмов обработки данных;
- широком представлении на рынке систем различных производителей, что позволяет выбрать систему с требуемым функционалом;
- отсутствии необходимости установки каких-либо дополнительных устройств на транспортных средствах.

Радиочастотная идентификация (RFID) ТС – идентификация происходит по специальной RFID-метке, установленной на ТС. В этом случае на участке УДС должен быть установлен специальный считыватель, который может располагаться как над, так и под дорожным покрытием. Ограничения по радиусу действия составляют до 15 м. Так как сигнал от метки достаточно слабый, то может потребоваться установка нескольких считывателей. Данная технология успешно применяется по многим областям, например при оплате проезда по платным магистралям и управлении парковочными пространствами. Основным недостатком, который не дает возможность использовать на всех видах ТС – требует оснащения всего автопарка необходимыми радиометками и считывателями, которые могут быть размещены на ограниченных площадях и маршрутах.

Спутниковые навигационные системы позволяют осуществлять спутниковый мониторинг перемещений ТС путем фиксации и последующего анализа точек его местоположения. При этом фиксируются два типа координат: временные и пространственные. Для реализации спутникового мониторинга необходима установка специального оборудования на ТС (рис. 3), которое получая информацию о координатах с навигационных спутников, определяет точные координаты ТС и записывает их в бортовой модуль хранения данных [9].



Рисунок 3 – Компоненты спутникового оборудования для установки на ТС

Систему спутникового мониторинга транспортного потока можно разделить на два вида: активное слежение и пассивное. В первом случае возникает необходимость в

постоянной удаленной передаче данных по определенным каналам связи. Во втором – необходимость удаленной передачи данных отсутствует, а сбор данных происходит на конкретных участках УДС или трасс.

Оба вида спутникового мониторинга предполагают дооснащение ТС, но пассивный режим слежения финансово менее затратен, так как позволяет использовать менее функциональное, а значит и менее дорогостоящее оборудование [10]. Однако активный режим широко универсален и не привязан к каким-либо дорожным сетям. При его реализации формируется высокоточная КМК, вне зависимости от местоположения и времени.

К недостаткам спутникового мониторинга можно отнести [11]:

- снижение точности позиционирования в густонаселенных районах с плотной застройкой, а также в условиях высокой облачности;

- необходимость установки системы спутникового оборудования на всех ТС.

К достоинствам относятся:

- высочайшая точность идентификации ТС;
- высокая точность фиксации маршрута ТС, так как временной интервал записи данных составляет одну минуту;

- нет требований к дорожной инфраструктуре в случае реализации активного вида спутникового слежения.

Сотовая связь. В настоящее время использование сотовой связи для решения задач позиционирования применяется достаточно часто. Это обусловлено высокой доступностью множества разработанных и широко используемых технологий, таких как: GSM, GPS, IP, Wi-Fi и т.д. Виды и точность позиционирования при различных технологиях показаны на рисунке 4 [12].

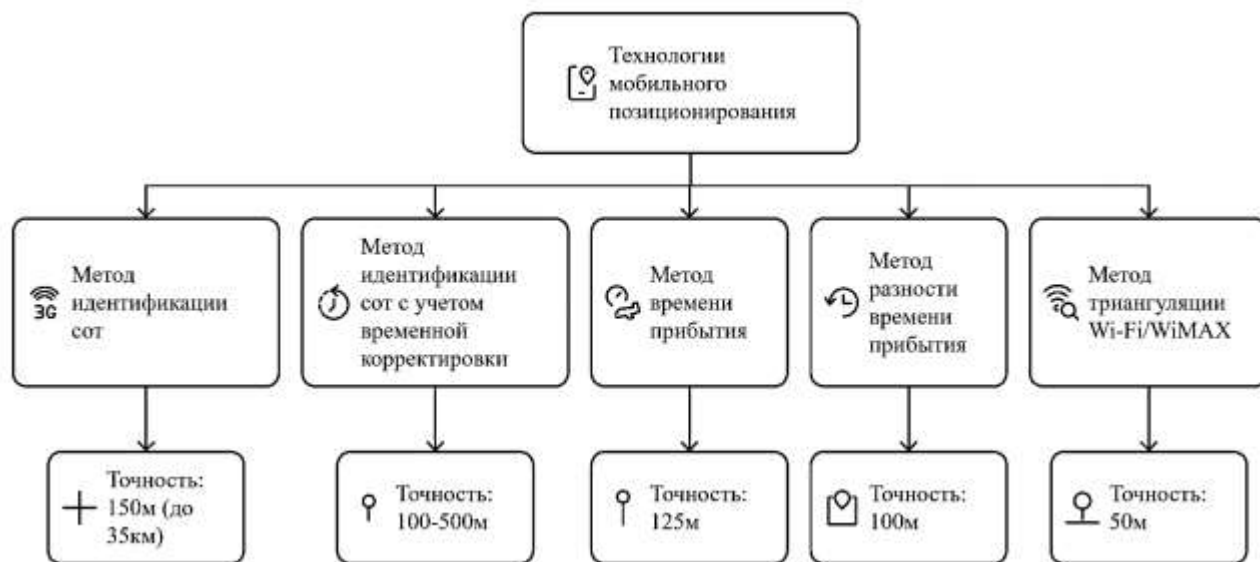


Рисунок 4 – Виды технологий мобильного позиционирования

Использование сотовых сетей для мониторинга транспорта требует развитой сетевой инфраструктуры. Зачастую может потребоваться модернизация существующего оборудования. Однако стоит отметить все же невысокий уровень точности позиционирования данного метода, что вносит ограничения на его использование для определенных маршрутов движения транспортных средств.

Рассмотрев особенности различных способов определения местоположения ТС, фиксации маршрутов их движения, можно сделать вывод, что для осуществления эффективного мониторинга транспортных потоков наиболее целесообразно использовать системы автоматического распознавания ГРЗ и методы радиочастотной идентификации ТС.

Оба метода обеспечивают высокую точность идентификации транспортных средств, что позволяет формировать высокоточные КМК. В тоже время стоит отметить, что вторым методом на данный момент невозможно охватить весь парк ТС страны, а системы автоматического распознавания ГРЗ получают наибольшее распространение на территориях городов и других населенных пунктов, что делает данный метод сбора транспортных корреспонденций наиболее доступным.

Одной из задач реализации ИТС является формирование доступных инструментов для построения КМК, которые основаны на анализе треков ТС. При этом КМК должна учитывать истоки, цели и маршруты движения ТС. Решением данной задачи является построение маршрутов движения ТС на основе информации, поступающей от устройств видеофиксации. Инструменты обработки данных должны обладать способностями агрегации данных на основе временных интервалов и места фиксации и их последующей визуализации, облегчающей анализ.

Такие инструменты как Excel и языки программирования Python и R используют обширные библиотеки, что позволяет с их помощью агрегировать данные на основе временных интервалов и местоположений пересечений. Однако, для визуализации данных, тонкой настройки графиков и реализации интерактивности Excel не подходит, так как обладает ограниченным функционалом, что нельзя сказать о Python и R, имеющих библиотеки визуализации.

Учитывая особенности рассмотренных инструментов анализа данных, можно сделать вывод, что лучшим решением для формирования КМК будет использование языка программирования Python с библиотекой Pandas, так как это дает гибкость интеграции в комплексную систему мониторинга ТС. Такое решение позволит агрегировать, обрабатывать большие объемы данных, систематизировать их, выполнять вычисления, формировать единую базу данных на основе нескольких файлов. Расширить функционал Python для визуализации и анализа движения транспортных средств на карте возможно за счет библиотеки GeoPandas.

Результаты и обсуждение

Рабочей средой методики предлагается использовать интерактивный блокнот с открытым исходным кодом Jupyter Notebook. В данном случае будет использоваться формат документов, основанный на JSON. Основными причинами, по которым был сделан выбор в пользу данного решения, являются: полная запись сеансов пользователя, возможность организации пошагового исследовательского процесса, поддержка около 40 языков программирования. Ключевым моментом является возможность интеграции приложения с библиотеками Pandas, NumPy, Matplotlib и Scikit-learn [13].

Предполагается дальнейший импорт обработанных данных в среду ГИС с целью их визуализации, редактирования и анализа. В настоящее время на рынке представлено множество программных продуктов для ГИС, например: ArcGIS, Mapinfo, QGIS. ArcGIS [14] и Mapinfo [15] – являются коммерческими продуктами с развитым функционалом и удобным интерфейсом, позволяющим выполнять глубокий анализ транспортной сети, но в условиях санкционного режима данные программные продукты недоступны на территории РФ. Альтернативным решением является бесплатное программное обеспечение QGIS. Оно обладает всем необходимым функционалом для работы с ГИС: анализ, управление, визуализация данных. QGIS может работать с большими данными за счет интеграции с библиотеками Python. Используя дополнительные плагины, в частности модуль QNEAT3, можно повысить уровень анализа транспортных сетей. QNEAT3 - это подключаемый модуль QGIS, написанный на языке Python и интегрированный в платформу обработки QGIS3. Он предлагает расширенные алгоритмы сетевого анализа, которые варьируются от простого поиска кратчайшего пути до более сложных задач, таких как вычисление изохронной области (также известной как зоны обслуживания, полигоны доступности) и OD-Matrix (Origin-Destination-Matrix) [16].

В качестве системы координат предлагается использовать всемирную геодезическую систему WGS 84. Данное решение сокращает вероятность некорректного сопоставления данных, поступающих из различных источников, которыми могут выступать наборы географических данных, данные GPS или спутниковые снимки [11].

Базовой картографической платформой предлагается использовать OpenStreetMap (OSM). Её преимуществом является свободное использование, а также высокое качество данных, которые содержат информацию о дорогах, зданиях и других объектах. OSM легко совместима с QGIS за счет использования специальных плагинов, таких как QuickOSM и OpenLayers.

Выводы

Изучив отечественный и зарубежный опыт использования различных систем определения местоположения ТС и их идентификации сделан вывод, что для сбора данных транспортных корреспонденций оптимально использование систем автоматического распознавания ГРЗ. Выбор обусловлен высокой точностью идентификации ТС и доступностью технологий и оборудования для исследования УДС населенных пунктов.

Одной из важнейших задач развития ИТС является формирование доступных инструментов для построения КМК, которые основаны на анализе треков ТС, что обеспечивается потоком данных от видеодетекторов системы автоматического распознавания ГРЗ. При этом для каждого трека необходимо отследить исток, цель и маршрут следования.

Принимая во внимание все эти факторы, наиболее целесообразно использовать язык программирования Python с библиотеками Pandas и для пространственного анализа GeoPandas, среду разработки Jupyter Notebook. Обоснован выбор среды QGIS и модуля QNEAT3 для анализа транспортной сети. В качестве системы координат выбрана WGS-84, а базовой картой проекта - OSM.

Благодарность

Статья написана в рамках служебного задания по гранту № МЛ 3/23 по теме «Методология интеграции технологий систем автоматизированного проектирования в геоинформационные системы для создания единого решения жизненного цикла транспортной сети», в рамках реализации программы развития университета «ПРИОРИТЕТ 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перькова М.В., Бик О.В., Перькова А.Ю. Влияние градостроительной политики на развитие транспортной инфраструктуры Белгородской субурбии // Архитектура и строительство России. 2021. №3(239). С. 58–65.
2. Новиков И.А. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения / А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова: монография. Белгород: БГТУ, 2021. 108 с.
3. Перькова А.Ю., Иванькина Н.А., Смирнов К.Л. Оптимизация транспортного сообщения Белгородской субурбии // Техническая эстетика и дизайн – исследования. 2021. №1. С. 61-71. DOI:10.34031/2687-0878-2021-3-1-61-71.
4. Боровской А.Е., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Внедрение интеллектуальных транспортных систем в рамках национальных программ повышения безопасности дорожного движения // Вестник ХНАДУ. 2013. №61–62. С. 279–283.
5. Конев А.А., Севрюгина Н.С., Апаненко А.С. Территориальная доступность и логистическое сопряжение регионов в устойчивой системе развития секторов экономики: монография. Ереван: Арменпак, 2021. 130 с.
6. Боровской А.Е., Смирнова А.Ю., Перькова М.В., Смирнов К.Л., Бердников М.Н. Маятниковые миграционные потоки Белгородской агломерированной территории // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. №2. С. 53–66. DOI:10.34031/2071-7318-2022-8-2-53-66.
7. Евдокимов В.Г., Щитов С.В., Кривуца З.Ф. Использование навигационной системы ГЛОНАСС и GPS для мониторинга автомобильного транспорта // Двойные технологии. 2012. №3(60). С. 26-29.

8. Локтионова А.Г., Шевцова А.Г., Копылова Е.В., Щетинин Н.А. Исследование разнородности динамических показателей легковых автомобилей для повышения эффективности функционирования городских транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 3-4(82). С. 47-52.
9. Шитова Ю.Ю., Шитов Ю.А., Власов Д.Н. Цифровой мониторинг транспорта Московской агломерации с помощью геоинформационных систем // Вестник Университета Правительства Москвы. 2019. №3. С. 54–59.
10. Галимуллин И.Р., Сахапов Р.Л. Спутниковый мониторинг транспорта // Техника и технология транспорта. 2020. №3(18). С. 10.
11. Ознамец В.В. Космический мониторинг транспорта // Конструкторское бюро. 2019. №2. С. 35-42.
12. Алексеев Н.Ю., Зюзин П.В. Оценка применимости Wi-Fi-аналитики в исследованиях пассажиропотоков городского общественного транспорта на примере Москвы // Мир транспорта. 2021. Т. 19. №3(94). С. 54-66. DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-3-6.
13. Jupyter Notebook: классический интерфейс ноутбука [Электронный ресурс]. URL: <https://jupyter.org/>.
14. ArcGIS Pro [Электронный ресурс]. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>.
15. MapInfo Pro – географическая информационная система (ГИС) [Электронный ресурс]. URL: <https://mapinfo.ru/node/211>.
16. Набор инструментов сетевого анализа QNEAT3 [Электронный ресурс]. URL: <https://root676.github.io/>.

Загородний Николай Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
К.т.н, доцент, зав. кафедрой эксплуатации и организации движения автотранспорта
E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Щетинин Николай Анатольевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
К.т.н, доцент кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта
E-mail: azrael90@mail.ru

Лозовой Николай Михайлович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
К.т.н, доцент кафедры городского кадастра и инженерных изысканий
E-mail: lozwa88@mail.ru

Конев Алексей Александрович

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

N.A. ZAGORODNIY, N.A. SHCHETININ, N.M. LOZOVY, A.A. KONEV

**ANALYSIS OF RAW DATA COLLECTION TECHNOLOGIES
ON THE CHARACTERISTICS OF TRAFFIC FLOWS FOR THE CREATION
OF CORRESPONDENCE MATRICES**

***Abstract.** The experience of determining the characteristics of the traffic flow and collecting data of transport correspondence using automatic recognition systems of state registration plates was considered. It is proposed to build high-quality correspondence matrices and an analysis of possible options for searching and collecting information for its construction was carried out. WGS 84 is selected as the coordinate system, the base map is OSM in the QGIS environment.*

***Keywords:** street road network, traffic flow, motorization, data collection, monitoring system*

BIBLIOGRAPHY

1. Per`kova M.V., Bik O.V., Per`kova A.YU. Vliyanie gradostroitel`noy politiki na razvitie transportnoy infrastruktury Belgorodskoy suburbii // Arkhitektura i stroitel`stvo Rossii. 2021. №3(239). S. 58-65.
2. Novikov I.A. Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya / A.N. Novikov, I.A. Novikov, A.G. Shevtsova: monografiya. Belgorod: BGTU, 2021. 108 s.
3. Per`kova A.YU., Ivan`kina N.A., Smirnov K.L. Optimizatsiya transportnogo soobshcheniya Belgorodskoy suburbii // Tekhnicheskaya estetika i dizayn - issledovaniya. 2021. №1. S. 61-71. DOI:10.34031/2687-0878-2021-3-1-61-71.
4. Borovskoy A.E., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Vnedrenie intellektual`nykh transportnykh sistem v ramkakh natsional`nykh programm povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Vestnik HNADU. 2013. №61-62. S. 279-283.
5. Konev A.A., Sevryugina N.S., Apanenko A.S. Territorial`naya dostupnost` i logisticheskoe sopryazhenie regionov v ustoychivoy sisteme razvitiya sektorov ekonomiki: monografiya. Erevan: Armenpak, 2021. 130 s.
6. Borovskoy A.E., Smirnova A.YU., Per`kova M.V., Smirnov K.L., Berdnikov M.N. Mayatnikovye migratsionnye potoki Belgorodskoy aglomerirovannoy territorii // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. 2023. №2. S. 53-66. DOI:10.34031/2071-7318-2022-8-2-53-66.
7. Evdokimov V.G., Shchitov S.V., Krivutsa Z.F. Ispol`zovanie navigatsionnoy sistemy GLONASS i GPS dlya monitoringa avtomobil`nogo transporta // Dvoynye tekhnologii. 2012. №3(60). S. 26-29.
8. Loktionova A.G., Shevtsova A.G., Kopylova E.V., Shchetinin N.A. Issledovanie raznorodnosti dinamicheskikh pokazateley legkovykh avtomobiley dlya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya gorodskikh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. № 3-4(82). S. 47-52.
9. Shitova YU.YU., Shitov YU.A., Vlasov D.N. Tsifrovoy monitoring transporta Moskovskoy aglomeratsii s pomoshch`yu geoinformatsionnykh sistem // Vestnik Universiteta Pravitel`stva Moskvy. 2019. №3. S. 54-59.
10. Galimullin I.R., Sakhapov R.L. Sputnikovyy monitoring transporta // Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2020. №3(18). S. 10.
11. Oznamets V.V. Kosmicheskii monitoring transporta // Konstruktorskie byuro. 2019. №2. S. 35-42.
12. Alekseev N.YU., Zyuzin P.V. Otsenka primenimosti Wi-Fi-analitiki v issledovaniyakh passazhiropotokov gorodskogo obshchestvennogo transporta na primere Moskvy // Mir transporta. 2021. T. 19. №3(94). S. 54-66. DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-3-6.
13. Jupyter Notebook: klassicheskiy interfeys noutbuka [Elektronnyy resurs]. URL: <https://jupyter.org/>.
14. ArcGIS Pro [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>.
15. MapInfo Pro - geograficheskaya informatsionnaya sistema (GIS) [Elektronnyy resurs]. URL: <https://mapinfo.ru/node/211>.
16. Nabor instrumentov setevogo analiza QNEAT3 [Elektronnyy resurs]. URL: <https://root676.github.io/>.

Zagorodniy Nikolay Aleksandrovich
Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod
Candidate of technical sciences
E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Lozovoy Nikolay Mikhaylovich
Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod
Candidate of technical sciences
E-mail: lozwa88@mail.ru

Shchetinin Nikolay Anatolievich
Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod
Candidate of technical sciences
E-mail: azrael90@mail.ru

Konev Alexey Aleksandrovich
Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod
Candidate of technical sciences
E-mail: konev_alexcei@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-101-107

Ц. ЦЗЯН, Л. ВАН, О.Ю. БУЛАТОВА

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. В современных условиях быстрого развития информационных технологий, нейросетевые технологии используются в различных отраслях. В транспортной инфраструктуре все большее применение нейросети приобретают в прогнозировании характеристик работы городского пассажирского транспорта (ГПТ). В данной статье рассматривается, каким образом использование нейросетей позволяет оптимизировать маршруты ГПТ, повысить точность прогнозов объемов пассажирских перевозок и осуществлять комплексную оценку качества работы городского пассажирского транспорта.

Ключевые слова: нейросеть, интеллектуальные транспортные системы, общественный транспорт

Введение

Современные города сталкиваются с растущими проблемами в области предоставления услуг общественного транспорта, например, перегруженность маршрутов, неэффективное распределение ресурсов, недостаток информации для пассажиров и многие другие [1-3]. Среди современных подходов к решению обозначенных задач, все большую популярность приобретают нейронные сети, которые применяют с целью обеспечения более точного анализа данных, прогнозирования перевозочного процесса и его оптимизацию.

Нейросеть — это нелинейная и адаптивная система обработки информации, состоящая из большого количества процессорных блоков, которая пытается обрабатывать информацию, моделируя способ обработки информации нейронной сетью мозга и памяти, и имеет четыре основные характеристики: нелинейность, неограниченность, очень качественную и невыпуклость [4].

В современных подходах в управлении пассажирскими перевозками применяются нейросети, которые могут, например, учитывать текущую загруженность и время ожидания пассажиров и предлагать способы оптимизации текущих условий. Это позволяет повысить эффективность координации между различными видами транспорта, общую эффективность системы городского пассажирского транспорта и уровня качества жизни жителей городов.

В данной статье рассматривается применение нейросетей при организации работы городского пассажирского транспорта.

Материал и методы

Исследования в области применения нейронных сетей выявляют две основные архитектуры: глубокие нейронные сети (DNN) и спайковые нейронные сети (SNN). DNN характеризуются многослойной архитектурой и эффективностью в задачах в области обработки данных, например, изображений и текста. В отличие от DNN, SNN обрабатывают информацию посредством передачи кратковременных импульсов (спайков), генерируемых при достижении нейроном определенного порогового значения активности. Эта особенность SNN имеет преимущества в обработке временных рядов, а также большую энергоэффективность по сравнению с DNN.

Рассмотрим принципы работы нейросетей: нейросеть состоит из входного слоя, нескольких скрытых слоев и выходного слоя, основной задачей нейронных сетей является проектирование скрытого слоя и взаимосвязей между нейронами. Скрытым слоем является глубокая нейронная сеть - DNN. На рисунке 1 представлена структура нейронной сети, на рисунке 2 – последовательность выполнения задач в нейросети.

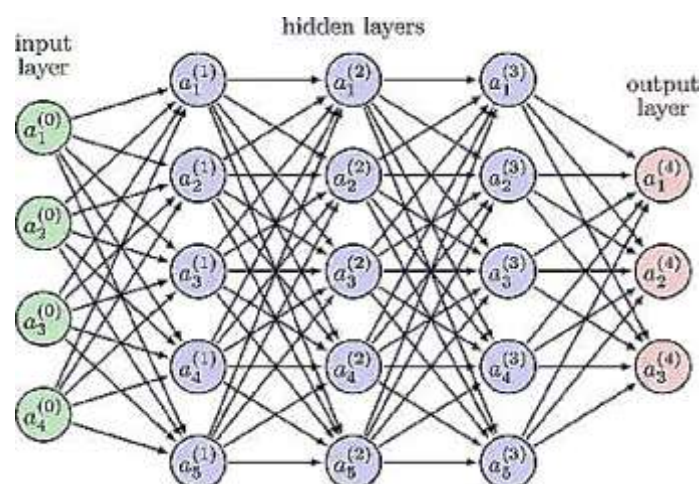


Рисунок 1 – Структурные взаимосвязи нейронной сети

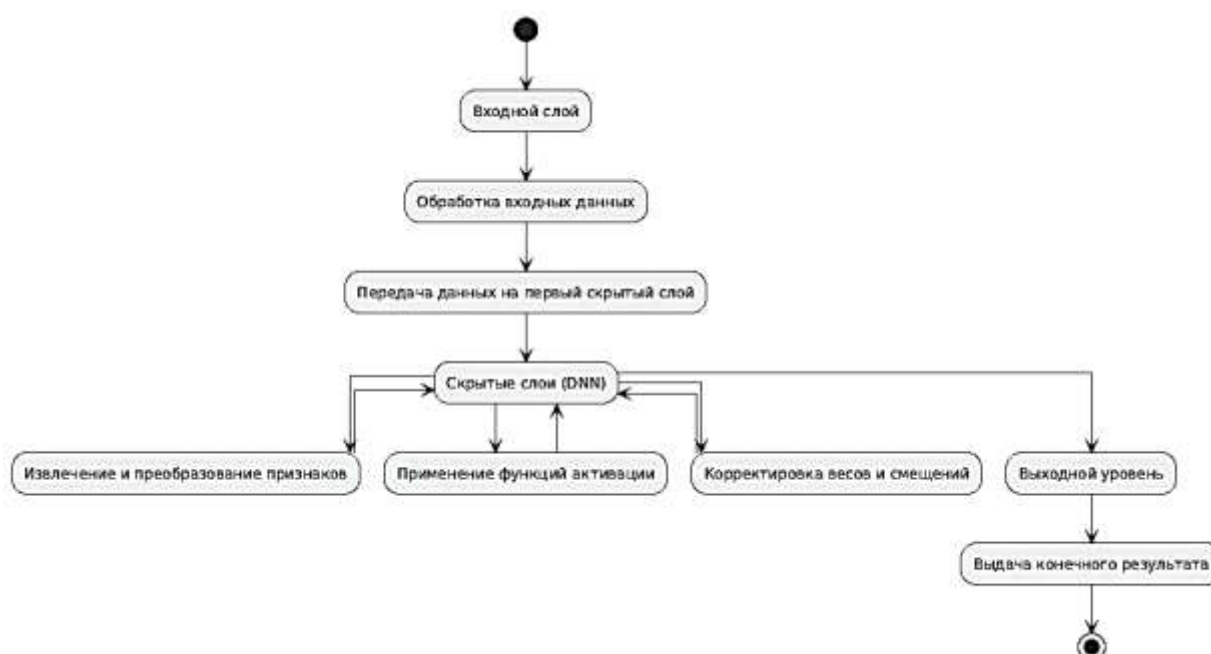


Рисунок 2 – Последовательность выполнения задач в нейросети

Теория / расчет

Рассмотрим приложения нейросетей, применяемых при организации работы городского пассажирского транспорта [5-7]:

1. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта

Одним из ключевых направлений применения нейросетей в области ГПТ является оптимизация маршрутов общественного транспорта. Алгоритмы машинного интеллекта позволяют осуществлять анализ больших объемов данных о пассажирских потоках, времени в пути и загруженности маршрутов, что позволяет:

- определять наиболее загруженные участки и корректировать расписание;
- создавать адаптивные маршруты, которые меняются в зависимости от текущей ситуации на дорогах;
- уменьшать время ожидания для пассажиров.

2. Прогнозирование времени в пути подвижного состава

Прогнозирование времени в пути автобуса является важной частью интеллектуальной системы диспетчеризации городского пассажирского транспорта, а нейросети применяются для прогнозирования времени прибытия автобуса, что может предоставить пассажирам бо-

лее точное время прибытия транспорта и повысить качество обслуживания автобусов.

Нейросеть моделируется с использованием интеллектуальных данных диспетчеризации и позиционирования для реализации точного прогнозирования времени в пути транспортных средств городского пассажирского транспорта. На первом шаге идентифицируются данные выборки, а затем при помощи алгоритма обратного распространения ошибки корректируется значение показателей сети.

Набор нейросетей состоит из нескольких отдельных нейронных сетей, а метод прогнозирования выбирается в соответствии с задачей прогнозирования, которая в основном включает в себя прогнозирование задачи регрессии и прогнозирование задачи классификации. Блок-схема алгоритма нейронной сети выглядит следующим образом (рис. 3).

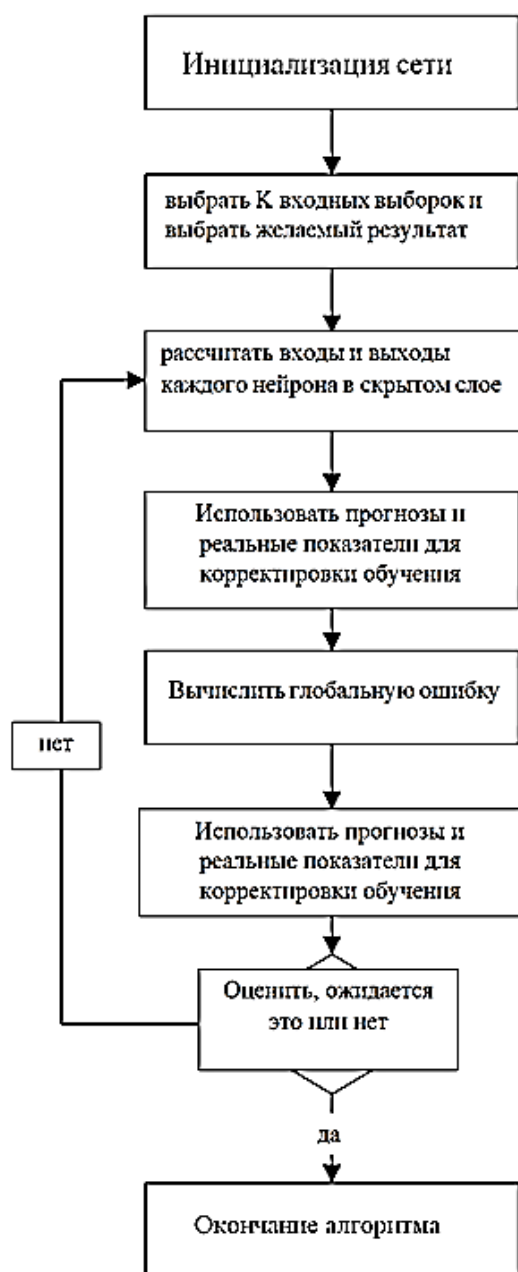


Рисунок 3 - Блок-схема алгоритма нейронной сети

моделирование процесса комплексной оценки общественного транспорта, и в конечном итоге завершается прогнозирование показателей, которые в дальнейшем можно использовать для сравнительного анализа (рис. 4).

3. Применение нейросетей при прогнозировании пассажиропотока

Согласно нейросетевому моделированию, реализуется функция прогнозирования пассажиропотока, при этом в первую очередь определяются факторы, влияющие на пассажиропоток, и задаются параметры исходных данных, включающие в себя не только измеряемые факторы, такие как количество транспортных средств, численность населения и доходы жителей, но и неизмеримые факторы, такие как экология и городские характеристики. Затем осуществляется сетевой ввод, измеряемые и неизмеримые данные предварительно обрабатываются, и они нормализуются, например, линеаризация, и прогнозируемое значение вычисляется, а затем преобразуется в соответствии с обратным правилом, и генетическая нейросеть обучается после предварительной обработки данных.

4. Прогнозирование комплексной оценки работы общественного транспорта

Прогнозирование комплексной работы общественного транспорта при помощи нейросетей позволяет оптимизировать систему оценки качества ГПТ и управления городской инфраструктурой в целом [8-20]. Нейросеть представляет собой многоуровневую систему обратной связи и функционирует следующим образом: входные данные передаются в узлы неясного слоя, после расчетов и анализа результаты передаются в выходные узлы, а затем выводятся результаты на экран устройства.

На начальном шаге прогнозирования качества работы ГПТ при помощи нейросетей выбираются параметры индекса оценки. Затем строится модель оценки, применяется нейросетевой алгоритм для обработки модели и параметров данных, реализация сетевых алгоритмов,

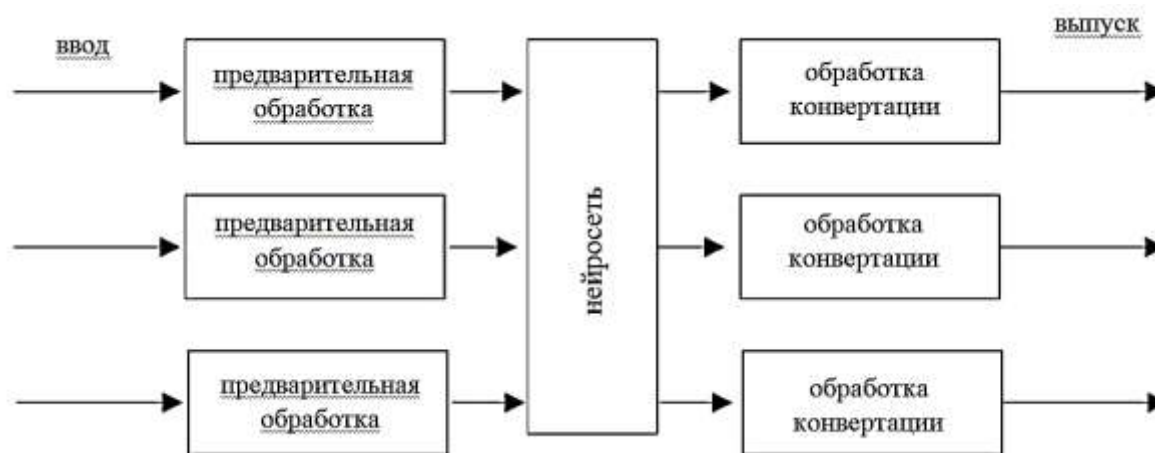


Рисунок 4 - Диспетчеризация на основе использования нейросетей

Результаты и обсуждение

Применение нейросетей становятся важным инструментом в сфере транспортного обслуживания. Комплексное управление городским пассажирским транспортом при использовании нейронных сетей может быть структурировано следующим образом (рис. 5, 6).

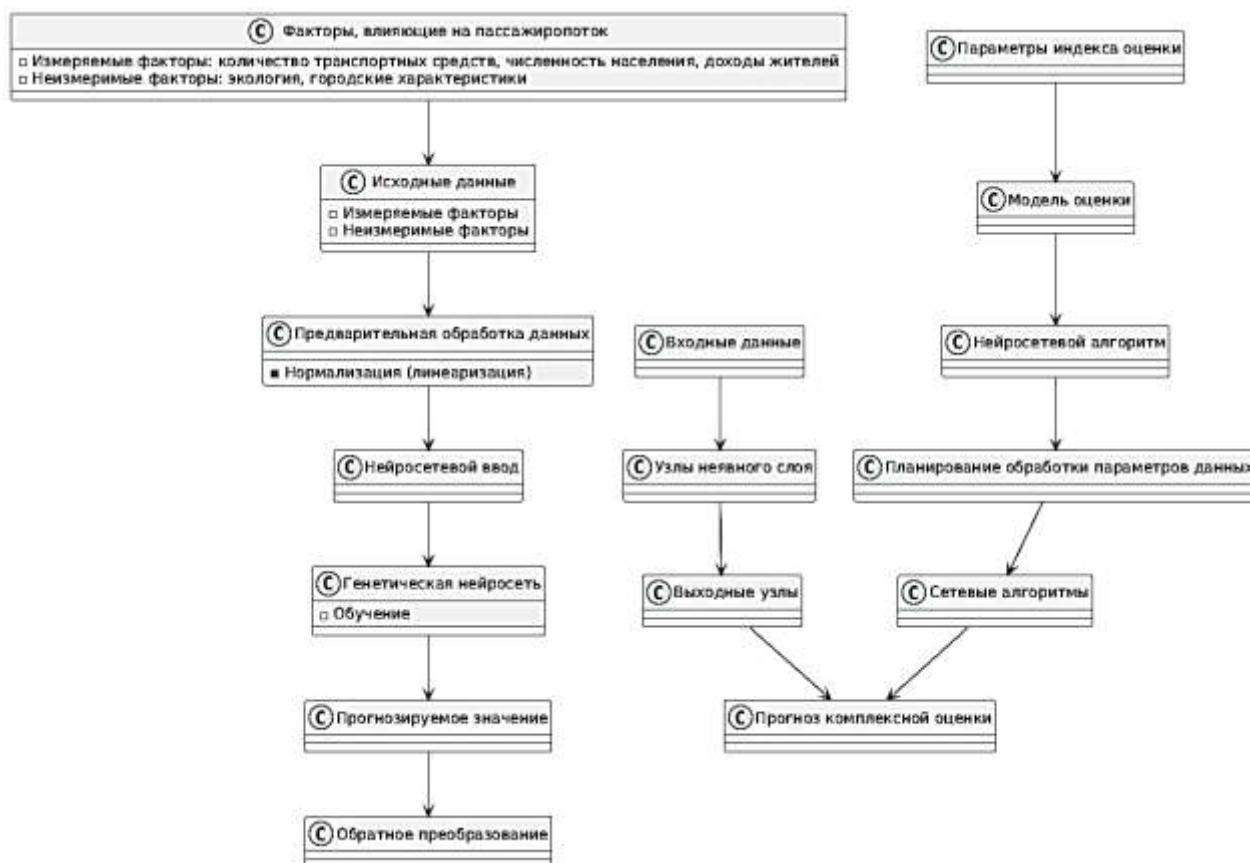


Рисунок 5 – Применение нейросетей при анализе пассажиропотоков

Выводы

Применение нейросетей в пассажирском транспорте становится все более актуальным. Данная технология позволяет повысить качество управления городским общественным транспортом, а также оптимизировать процессы, связанные с обработкой и анализом больших данных о пассажирообороте, потребностей пользователей и т.д. В результате применения нейросетей, операторы могут более точно прогнозировать объем пассажиропотоков и другие характеристики работы городского пассажирского транспорта.

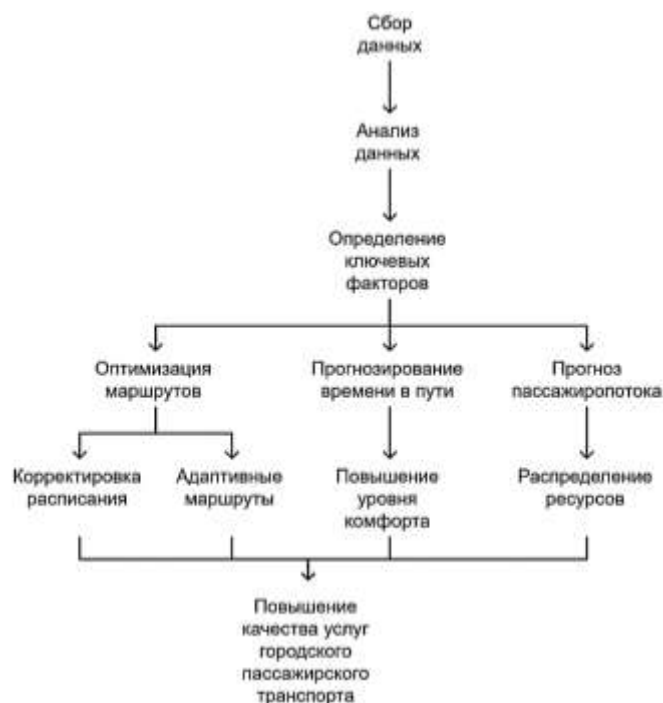


Рисунок 6 - Комплексное управление городским пассажирским транспортом при использовании нейросетей

Применение нейросетей в пассажирском транспорте открывает новые возможности для повышения эффективности, безопасности и качества пассажирского обслуживания. Тем не менее, важно учитывать и возникающие потенциальные риски, связанные с обеспечением защиты персональных данных и надежности функционирования системы.

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. 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.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022616661 Рос. Федерация. № 2022615745 / Павлов А.С., Зырянов В.В., Андреева Е.А.; заявл. 04.04.22; опублик. 15.04. EDN TRGUQG.
4. Кашталинский А.С., Порхачева С.М. Изучение свойств транспортного потока в городских условиях на основе интенсивности движения // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации: Материалы 106-й Международной научно-технической конференции. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет. 2019. С. 576-583. EDN WBIMQW.
5. Линник Ю.Н., Карелина М.Ю., Линник В.Ю., Акулов А.А. Разработка метода оптимизации маршрутов региональной логистики на основе гравитационной модели управления транспортными городскими узлами // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-3(86). С. 135-144. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-135-144. EDN MZBZMS.
6. Булатова О.Ю. Особенности транспортного планирования в условиях пандемии COVID-19 // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №1(72). С. 41-46. DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-41-46. EDN JHEDXP.
7. Интеграционная платформа «CTfind Iplatform»: Св-во о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022683104 Рос. Федерация № 2022682219 / Павлов А.С., Зырянов В.В., Андреева Е.А.; заявл. 18.11.22; опублик. 01.12.22. EDN JBFNHP.
8. 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, China // Sensors. 2024. Vol. 24. №16. P. 5110. DOI 10.3390/s24165110. EDN MSAPEG.
9. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Исследование степени насыщения пересечения при учете классификации легковых автомобилей // Автотранспортное предприятие. 2014. №5. С. 51-53.
10. Зырянов В.В., Ветрова Т.А. Теоретические основы динамического управления маршрутами общественного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-3(86). С. 14-21. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-14-21. EDN MTLUKB.
11. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.

12. Криволапова О.Ю., Слынько А.О. Применение спутниковых систем мониторинга для повышения производительности работы водителей // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2017. №4(47). С. 43-50. EDN YPJGIK.

13. Клименко Д.А., Баните А.В., Кашталинский А.С. Проблемы развития транспортной системы Российской Федерации // Транспортные системы: Сборник материалов Международной научной онлайн-конференции для молодых ученых и аспирантов. Санкт-Петербург: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». 2023. С. 17-23. DOI 10.18720/SPBPU/2/id23-4. EDN NXQXKV.

14. 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. EDN APCHZB.

15. Булатова О.Ю. Принципы функционирования транспортной инфраструктуры в умных городах // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-1(78). С. 73-78. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78. EDN LUOATD.

16. 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.

17. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Юнг А.А. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения // Интеллек. Инновации. Инвестиции. 2022. №1. С. 126-134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126.

18. Криволапова О.Ю. Подход к оценке эффективности объектов совершенствования транспортной сети // Научное обозрение. 2014. № 1-2. С. 606-608. EDN TUGDGF.

19. 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. EDN JEMLLM.

Цзян Цзиньхуэй

Донской государственный технический университет

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

Магистр

E-mail: 821958282@qq.com

Ван Линькан

Донской государственный технический университет

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

Магистр

E-mail: 1421915505@qq.com

Булатова Ольга Юрьевна

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

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

J. JIANG, L. WANG, O.YU. BULATOVA

**NEURAL NETWORKS USAGE IN THE URBAN
PASSENGER TRANSPORT ORGANIZATION**

Abstract. *In modern conditions of rapid development of information technologies, neural network technologies are used in various industries, and play an important role in predicting the performance of urban passenger transport (GPT). This article examines how the use of neural networks makes it possible to optimize GPT routes, increase the accuracy of forecasts of passenger traffic volumes and carry out a comprehensive assessment of the quality of urban passenger transport.*

Keywords: *neural network, intelligent transport systems, public transport*

BIBLIOGRAPHY

1. Bulatova O.YU., Zyryanov V.V. Zadachi organizatsii dorozhnogo dvizheniya pri vozniknovenii intsi-dentov 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. Zyryanov V.V., Semchugova E.YU., Karaeva M.R., Kostenko A.A. Povyshenie kachestva prognozirovani-ya 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.

3. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2022616661 Ros. Federatsiya. № 2022615745 / Pavlov A.S., Zyryanov V.V., Andreeva E.A.; zayavl. 04.04.22; opubl. 15.04. EDN TRGUQG.

4. Kashtalinskiy A.S., Porkhacheva S.M. Izuchenie svoystv transportnogo potoka v gorodskikh usloviyakh na osnove intensivnosti dvizheniya // Bezopasnost' koliosnykh transportnykh sredstv v usloviyakh ekspluatatsii: Materialy

106-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Irkutsk: Irkutskiy natsional'nyy issledovatel'skiy tekhnicheskii universitet. 2019. S. 576-583. EDN WBIMQW.

5. Linnik YU.N., Karelin M.YU., Linnik V.YU., Akulov A.A. Razrabotka metoda optimizatsii marshrutov regional'noy logistiki na osnove gravitatsionnoy modeli upravleniya transportnymi gorodskimi uzlamy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №3-3(86). S. 135-144. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-135-144. EDN MZBZMS.

6. Bulatova O.YU. Osobennosti transportnogo planirovaniya v usloviyakh pandemii COVID-19 // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2021. №1(72). S. 41-46. DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-41-46. EDN JHEDXP.

7. Integratsionnaya platforma "CTfind Iplatform": Sv-vo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2022683104 Ros. Federatsiya № 2022682219 / Pavlov A.S., Zyryanov V.V., Andreeva E.A.; zayavl. 18.11.22; opubl. 01.12.22. EDN JBFNHP.

8. 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, China // *Sensors*. 2024. Vol. 24. №16. P. 5110. DOI 10.3390/s24165110. EDN MSAEAG.

9. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Issledovanie stepeni nasyshcheniya peresecheniya pri uchete klassifikatsii legkovykh avtomobiley // *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2014. №5. S. 51-53.

10. Zyryanov V.V., Vetrova T.A. Teoreticheskie osnovy dinamicheskogo upravleniya marshrutami obshchestvennogo transporta // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №3-3(86). S. 14-21. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-14-21. EDN MTLUKB.

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

12. Krivolapova O.YU., Slyn'ko A.O. Primenenie sputnikovykh sistem monitoringa dlya povysheniya proizvoditel'nosti raboty voditeley // *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017. №4(47). S. 43-50. EDN YPJGIK.

13. Klimenko D.A., Banite A.V., Kashtalinskiy A.S. Problemy razvitiya transportnoy sistemy Rossiyskoy Federatsii // *Transportnye sistemy: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy onlaynkonferentsii dlya molodykh uchenykh i aspirantov*. Sankt-Peterburg: FGAOU VO «Sankt-Peterburgskiy poli-tekhnicheskii universitet Petra Velikogo». 2023. S. 17-23. DOI 10.18720/SPBPU/2/id23-4. EDN NXQXKV.

14. Novikov A.N., Petrishche E.V. Problemy transportnogo obsluzhivaniya goroda Orla i Orlovskogo munitsipal'nogo okruga // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2024. №3-3(86). S. 48-54. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-48-54. EDN APCHZB.

15. Bulatova O.YU. Printsipy funktsionirovaniya transportnoy infrastruktury v umnykh gorodakh // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2022. №3-1(78). S. 73-78. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78. EDN LUOATD.

16. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of newgeneration 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.

17. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., YUng A.A. Otsenka vliyaniya parametrov avtomobiley na znachenie po-toka nasyshcheniya // *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. 2022. №1. S. 126-134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126.

18. Krivolapova O.YU. Podkhod k otsenke effektivnosti ob"ektov sovershenstvovaniya transportnoy seti // *Nauchnoe obozrenie*. 2014. № 1-2. S. 606-608. EDN TUGDGF.

19. 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. EDN JEMLLM.

Jiang Jinhui

Don State Technical University

Address: 344011, Russia, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya, 162

Master's student

E-mail: 821958282@qq.com

Wang Linkang

Don State Technical University, Rostov-on-Don

Address: 344011, Russia, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya, 162

Master's student

E-mail: 1421915505@qq.com

Bulatova Olga Yurievna

Don State Technical University, Rostov-on-Don

Address: 344011, Russia, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya, 162

Candidate of Technical Sciences

E-mail: mip.rnd@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-108-114

И.А. ЧЕБЫКИН, А.Н. НОВИКОВ, В.Э. КЛЯВИН, А.С. СЫСОЕВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА СВЕТОФОРНОМ ОБЪЕКТЕ

Аннотация. Рассмотрены методические аспекты, касающиеся системы адаптивного управления светофорным объектом, основанной не на расчёте длительности фаз, а на определении необходимого числа пропускаемых автомобилей в каждой фазе. Предполагается использование современных технических возможностей компьютерного зрения и нейронных сетей, которые позволяют применять подходы, характерные при ручном регулировании движения на перекрёстке. Алгоритм построен на постоянном контроле и учёте интенсивности движения на перегонах.

Ключевые слова: транспортный поток, интенсивность движения, состав потока, средняя скорость движения, светофорный объект, адаптивная система управления

Введение

Бурное развитие технологий открывает новые, ранее невиданные, возможности, проникающие во все сферы жизни по мере их развития. С другой стороны, на фоне продолжающейся автомобилизации продолжают усугубляться проблемы, связанные с движением транспортных потоков по улично-дорожной сети городов. И здесь необходимо отметить расширяющееся применение новых технологий в системе управления транспортными потоками.

Так за последние десятилетия адаптивные системы управления светофорными объектами, появившиеся ещё в 70-е годы прошлого столетия [1], высокими темпами стали получать новые возможности, которые условно можно разбить на две группы. С одной стороны – это использование новых вычислительных средств: машинного обучения, нейронных сетей, искусственного интеллекта непосредственно для осуществления адаптивного управления [1-4].

С другой стороны – это развитие машинного или компьютерного зрения, вышедшего на новый уровень с использованием искусственного интеллекта для сбора и анализа данных о транспортном потоке [5]. Появились возможности сбора информации о транспортных средствах по каждой полосе движения [6], между двумя перекрестками [7], а также распознавания транспортных средств компьютерным зрением в неблагоприятных погодных условиях [8]. «Использование компьютерного зрения и алгоритмов анализа данных позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на подсчет транспортных средств. Это также позволяет получить более точные результаты, поскольку программное обеспечение работает на основе заданных алгоритмов и исключает человеческий фактор» [9]. На рисунке 1 представлен пример учёта транспортного потока.



Рисунок 1 – Использование компьютерного зрения для учёта транспортного потока

Уже сейчас на практике мониторинг движения может включать в себя следующие функции [10]:

- подсчет количества транспортных средств (ТС) по полосам/по направлениям;
- классификация ТС на 6/8/14 типов;
- расчет средней скорости движения транспортных средств;
- расчет средней задержки ТС;
- определение плотности движения;
- определение показателя перегруженности;
- определение длины очереди ТС;
- подсчет интенсивности пешеходного движения;
- определение количества пешеходов в зоне;
- отслеживание треков ТС в пределах кадра;
- построение отчетов в формате Приказа Минтранса № 114;
- определение мгновенной скорости в режиме реального времени.

Такие возможности позволяют существенно повысить эффективность адаптивного управления режимом светофорного объекта.

Материал и методы

Наиболее распространённые алгоритмы адаптивного управления можно разделить на следующие группы:

1. «Алгоритм, предусматривающий пропуск очередей, образовавшихся в период действия запрещающего сигнала» [11]. Наиболее характерным представителем группы является система «Электронный городской», составная часть АСУДД «ВЗГЛЯД» [12]. Принцип действия: во время работы красной фазы светофора детекторы считывают идентификационные номера проехавших транспортных средств и формируют их список. При переключении на зелёный свет запись прекращается и начинается удаление номеров из списка, пока список не станет пустым. В этот момент происходит завершение зелёной фазы.

2. «Алгоритм поиска разрыва в транспортном потоке» [11]. Действует по принципу поиска определённой дистанции между автомобилями, проезжающими на разрешающий сигнал для смены фазы. При непрерывных потоках переходит на режим с фиксированными длительностями фаз.

3. «Алгоритм, предусматривающий перераспределение длительности фаз внутри цикла на основе анализа текущих фазовых коэффициентов в конфликтующих направлениях» [11]. В основе алгоритма изменение длительности фаз светофора в зависимости от интенсивности входящих транспортных потоков путём определения среднеарифметического значения величины очередей за заданное число циклов.

Достаточно полный обзор существующих алгоритмов адаптивного управления светофорным объектом приведён в работе [13].

Однако, современные технические возможности компьютерного зрения и нейронных сетей (см. выше) позволяют использовать подходы, применяемые при ручном регулировании движения на перекрёстке. Задача регулировщика в этом случае не допустить скопление автомобилей на подходах к перекрёстку, если пересекаются магистральные направления, или максимально обслужить магистральное направление, не допуская значительных очередей на вспомогательном направлении. Причём регулировщик руководствуется не временем, а количеством автомобилей. Такой подход позволяет использовать алгоритм управления, рабочее название – «Электронный регулировщик», основанный на количестве автомобилей, пропускаемых за фазу, контролируя только длительность цикла. При этом количество камер определяется не только числом перегонов и возможностью надёжно контролировать движение на пересечении, но и необходимостью качественного подсчёта прибывающих автомобилей на каждом подходе. То есть, необходимо учитывать возможное влияние расположенных близко к пересечению центров притяжения, включая парковки, и другие моменты, выявленные при подготовке введения адаптивного регулирования.

Расчет

В качестве примера использовано регулируемое пересечение улиц Космонавтов и Валентины Терешковой города Липецка, расчётная схема и схемы пофазного разъезда представлены на рисунках 2 и 3. Особенности данного пересечения являются отсутствие в фазах конфликтных точек «пересечение» и «слияние», и выделенной пешеходной фазы. Если выделенная пешеходная фаза практически не влияет на эффективность адаптивного управления, то наличие в фазах конфликтных точек «пересечение» и «слияние» или так называемого «просачивания» вносит в управление фактор случайности, существенно снижающий его эффективность.

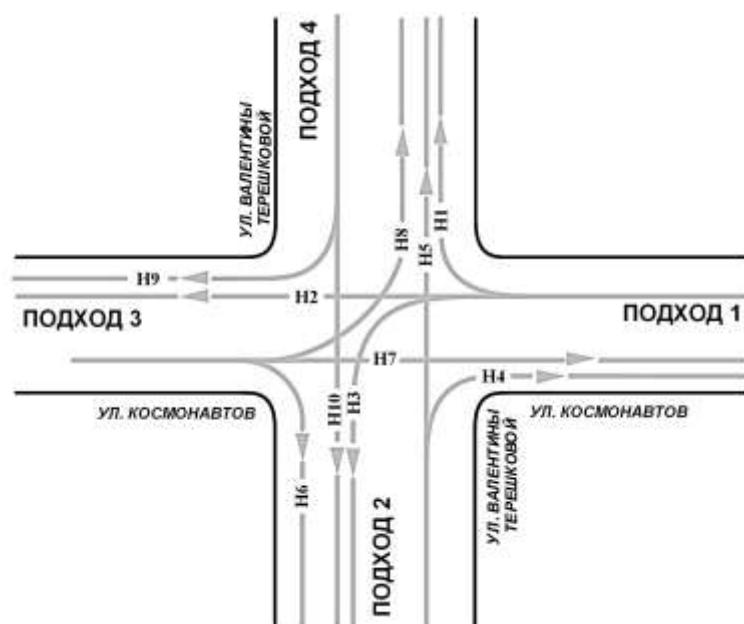


Рисунок 2 – Расчётная схема пересечения

В таблице 1 приведены результаты замеров интенсивности движения в пиковые периоды («утро» и «вечер»), позволяющие продемонстрировать возможности предлагаемой системы адаптивного регулирования.

Учитывая, что каждое пересечение имеет свои особенности, оказывающие влияние на пропускную способность в каждой отдельно взятой фазе движения, для первоначального периода количество автомобилей, которые должны проехать и тем самым определяют период действия зелёного сигнала, необходимо рассчитывать.

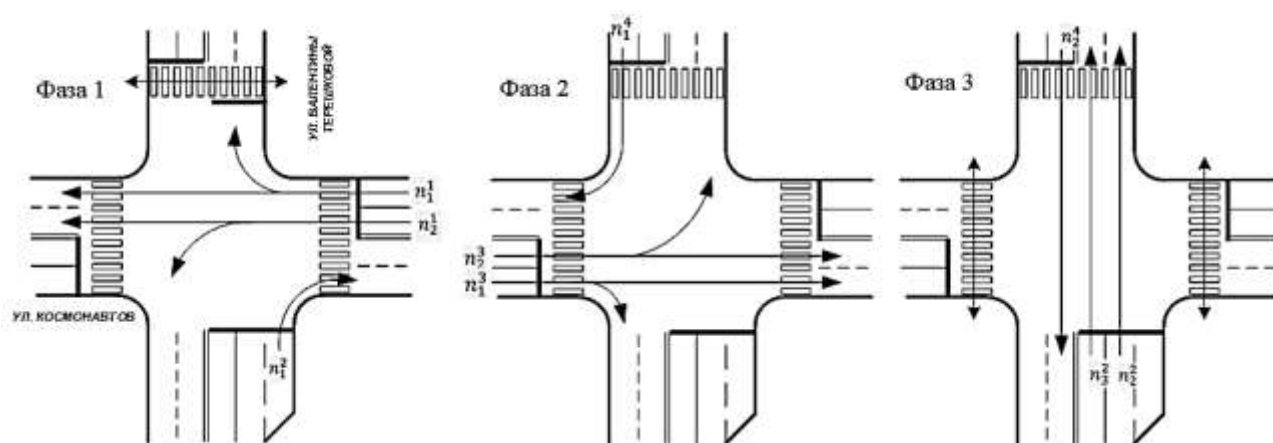


Рисунок 3 – Схема пофазного разъезда

Таблица 1 – Результаты замеров интенсивности движения в пиковые периоды

Интенсивность, прив.авт./ч	Время замеров	Направление на расчётной схеме									
		Н 1	Н 2	Н 3	Н 4	Н 5	Н 6	Н 7	Н 8	Н 9	Н 10
	«Утро»	15	450	359	360	752	141	542	155	65	517
	«Вечер»	100	400	320	120	570	80	440	20	120	500

Для расчёта пропускаемого количества автомобилей за каждую фазу необходимо выбрать длительность цикла регулирования. Чаще всего предлагается использовать предельное

значение цикла регулирования в 120 с, что диктуется обеспечением безопасности дорожного движения, так как длительное ожидание разрешающего сигнала светофора может вызывать стрессовое состояние у водителей [14, 15]. В этом случае количество циклов регулирования за час ($n_{ц}$) будет определяться как:

$$n_{ц} = \frac{3600}{T_{цс}} = \frac{3600}{120} = 30, \quad (1)$$

где $T_{цс}$ - предельное значение цикла регулирования, с.

Тогда количество автомобилей, которое необходимо пропустить за фазу по каждому подходу будет равно:

$$n_i^{j,k} = \frac{N_k^j \cdot d_k^j}{n_{ц} \cdot m_k^j}, \quad (2)$$

где $n_i^{j,k}$ – количество автомобилей, которое необходимо пропустить по i -той полосе движения j -того подхода за k -тую фазу;

N_k^j – интенсивность движения на перегоне к j -тому подходу в канун k -той фазы;

d_k^j – доля интенсивности движения на перегоне к j -тому подходу, участвующая в k -той фазе;

m_k^j – число полос j -того подхода, задействованных в k -той фазе.

При расчёте делается допущение, что при наличии двух и более действующих полос на общем подходе при условии отсутствия на них канализированного движения, интенсивность по полосам распределяется равномерно. Кроме этого, использование данных, приведённых в таблице 1 в сочетании с расчётной схемой, показанной на рисунке 2, позволяет непосредственно рассчитать интенсивность на полосах, задействованных в фазе. Результаты расчёта количества автомобилей, которое необходимо пропустить в фазе светофорного регулирования по каждой активной полосе (рис. 3), приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта количества автомобилей, которое необходимо пропустить в фазе светофорного регулирования по каждой активной полосе

Время замеров	Фаза									
	1			2			3			
	Интенсивность движения на активных полосах j-того подхода фазы р									
	(Н1+Н2+Н3)	(Н1+Н2+Н3)	Н4	(Н6+Н7+Н8)	(Н6+Н7+Н8)	Н9	Н5	Н5	Н10	
	Расчётное количество автомобилей									
	n_1^1	n_2^1	n_1^2	n_1^3	n_2^3	n_1^4	n_2^2	n_3^2	n_2^4	
Утро	14	14	12	14	14	2	13	13	17	
Вечер	14	14	4	9	9	4	10	10	17	

Далее необходимо удостовериться, что пропуск расчётного количества автомобилей за цикл светофорного регулирования не превысит принятое максимальное значение (в рассматриваемом примере – 120 с). Длительность фазы $t_{фi}$ можно рассчитать по формуле:

$$t_{фk} = t_{пт} + \frac{3600}{M_i^j} n_i^{j,k}, \quad (3)$$

где $t_{пт}$ – потерянное время в фазе, которое можно приближенно считать равным сумме промежуточных тактов (красный+жёлтый – 2 с, жёлтый – 3 с), входящих в состав цикла (принимая $t_{пт} = 5$ с) (ОДМ 218.6.003-2011 «Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах»);

M_i^j – поток насыщения на i -той полосе движения j -того подхода, расчёт приведён в работе «Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Организация дорожного движения на регулируемых пересечениях», исходя из данных рассматриваемого пересечения принимаем $M_i^j = 1500$ прив.авт./ч.

Для расчёта необходимо брать максимальные значения $n_i^{j,k}$ в каждой фазе. В рассматриваемом примере: в утреннее время это: фаза 1 – 14, фаза 2 – 14, фаза 3 – 17; в вечернее время это: фаза 1 – 14, фаза 2 – 9, фаза 3 – 17. Время цикла рассчитываем по формуле:

$$T_{\text{ц}} = \sum_1^k t_{\text{ф}k}. \quad (4)$$

Результат расчёта: в утреннее время $T_{\text{ц}} = 123$ с, в вечернее время $T_{\text{ц}} = 111$ с. В утреннее время цикл светофорного регулирования превышает принятое максимальное значение. Превышение незначительное и может быть компенсировано неравномерностью движения транспортного потока. Если превышение будет увеличиваться, то необходимо в зависимости от статуса улиц, формирующих пересечение, или обеспечить движение по приоритетному направлению, или при равном статусе соблюдать баланс между направлениями, который обеспечит равномерность нарастания очереди на всех подходах. В случае выделения приоритетного направления или направлений в очередности фаз должно соблюдаться правило, согласно которому в цикле первыми идут фазы с приоритетными направлениями, а в завершении цикла – вспомогательные. Это необходимо для сохранения возможности предотвращения превышения максимального значения времени цикла светофорного регулирования за счёт вспомогательных направлений.

В вечернее время цикл светофорного регулирования меньше принятого максимального значения. То есть обслуживается весь прибывающий транспортный поток. И здесь необходимо выделить два важных момента. Во-первых, в фазе 1 и фазе 3 присутствует движение пешеходов. Это означает, что длительность фаз не должна быть меньше, чем требуется пешеходам для безопасного перехода. Методика расчёта продолжительности времени, необходимого для перехода проезжей части, приведена в работе [мет УВД, с. 59-60]. Расчётная длительность фазы с присутствием движения пешеходов в рассматриваемом примере составила 19 с, что меньше длительности фазы 1 и фазы 3 как в утреннее, так и в вечернее время.

Во-вторых, при снижении интенсивности движения во внепиковые периоды возможна ситуация, когда транспортные средства, находящиеся на подходе к пересечению, успевают проехать пересечение (так называемый разрыв потока [16]). В этом случае, когда фиксируется, что на наиболее загруженном направлении на подходе остаются 2-3 транспортных средства, рекомендуется предупреждать водителей смене сигнала с зеленого на желтый посредством включения обратного отсчёта времени от 5 с, традиционно используя на последних трёх секундах мигающий режим.

Результаты и обсуждение

Предлагаемый алгоритм управления светофорным объектом «Электронный регулятор» требует экспериментальной проверки. При этом необходимо уточнить параметры, такие как метеорологические условия, время суток, состав транспортного потока и другие, которые могут оказать влияние на пропускную способность и должны учитываться при машинном обучении. Уже на первом этапе обучения полученная информация о времени, затрачиваемом на пропуск расчётного числа автомобилей, позволит сориентироваться в реальной пропускной способности каждой полосы на подходах к пересечению с учётом состава транспортного потока.

Дальнейшее изучение возможностей пересечения в обслуживании транспортных потоков может дать обоснование решениям, направленным на повышение пропускной способности пересечения.

Выводы

Алгоритм адаптивного управления светофорным объектом «Электронный регулятор», как следует из примера, отличается простотой и эффективностью. Нет необходимости в детальном обследовании пересечения, сложных расчётах, моделировании. При этом система управления отличается гибкостью и чётким реагированием в реальном времени на любые колебания интенсивности движения транспортных потоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Остапенко П.В., Султантемирова К.А., Сапрыкин О.Н. Адаптивное управление светофорным объектом на основе машинного обучения // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2020): Сборник трудов по материалам VI Международной конференции и молодежной школы в 4 т. Самара: Самар. ун-т. 2020. Т. 4. Научи о данных. 2020. С. 691-698.
2. Овчинников Д.В., Шевченко Е.А., Уфилин П.А. Применение нейронных сетей в системах умных све-

тофоров: выбор оптимальной архитектуры для анализа дорожного трафика // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс: сборник материалов в 8 т. Т. 7. Международная научно-технологическая конференция молодых ученых «Молодежь. Инновации. Технологии». Новосибирск: СГУГиТ. 2024. №2. С. 26-31. DOI 10.33764/2618-981X-2024-7-2.

3. Архипов Д.А. Умный светофор или использование искусственного интеллекта для управления транспортными потоками // Вестник науки. №6(75). Т. 1. 2024. С. 1389-1392.

4. Бекларян А.Л., Бекларян Л.А., Акопов А.С. Имитационная модель интеллектуальной транспортной системы «умного города» с адаптивным управлением светофорами на основе нечеткой кластеризации // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. №3. С. 70-86. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.3.70.86.

5. Шепелев В.Д., Альметова З.В., Моор А.Д., Берстенева В.И. Оптимизация работы адаптивных светофоров на основе использования машинного зрения // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2020. Т. 14, № 1. С. 189–196. DOI: 10.14529/em200119.

6. Narnolia V., Jana U., Chattopadhyay S., Roy S. Generalized smart traffic regulation framework with dynamic adaptation and prediction logic using computer vision. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 937. P. 249-263. DOI: 10.1007/978-981-13-7403-6_24.

7. Chowdhury M.F., Ryad Ahmed Biplob M., Uddin J. Real time traffic density measurement using computer vision and dynamic traffic control. Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics and Vision and 2nd International Conference on Imaging, Vision and Pattern Recognition. Kitakyushu. Japan. 2018. DOI: 10.1109/ICIEV.2018.8641039.

8. Das A., Pai S., Shenoy V.S., Vinay T., Shylaja S.S. D2: Real-time dehazing in traffic video analytics by fast dynamic bilateral filtering. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1024. P. 127-137.

9. Кукоба И.А. Автоматизированный подсчет транспортных средств на основе компьютерного зрения. Анализ и расчет коэффициента загруженности автомобильной дороги [Электронный ресурс] / Актуальные исследования. 2023. №49 (179). Ч.1. С. 54-57. URL: <https://apni.ru/article/7703-avtomatizirovannij-podschet-transportnikh>.

10. TrafficData: Модуль мониторинга дорожного движения [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://traffic-data.tilda.ws/traffic-monitoring-module>.

11. Кретов А.Ю. Обзор некоторых адаптивных алгоритмов светофорного регулирования перекрестков // Известия Тульского гос. ун-та: Технич. науки. 2013. Вып. 7. Ч. 2. С. 61-66.

12. Агуреев И.Е., Мацур И.Ю., Минаков Е.И. Тульский «Взгляд» на соблюдение правил дорожного движения // Дороги. Инновации в строительстве. № 10. 2011. С. 24-27.

13. Шепелев В.Д., Альметова З.В., Моор А.Д., Берстенева В.И. Оптимизация работы адаптивных светофоров на основе использования машинного зрения // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2020. Т. 14. №1. С. 189-196. DOI: 10.14529/em200119.

14. Koonce P. и др. Traffic Signal Timing Manual. Washington, DC: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2008.

15. Рассоха В.И., Никитин Н.А., Савина Ю.Э. Сравнение эффективности алгоритмов расчёта режима работы светофорного объекта // Технич.-технологические проблемы сервиса. №4(54). 2020. С. 44-49.

16. Пройдакова Е.В., Решетова А.А. Исследование системы массового обслуживания с адаптивным алгоритмом поиска разрыва в потоке // Вестник ВГАВТ. Вып. 53. 2017. С. 36-41.

Чебыкин Иван Андреевич

ООО «Трафик Дэйта»

Адрес: 614065, Россия, г. Пермь, Шоссе Космонавтов, 111

Генеральный директор

E-mail: ceo@traffikdata.ru

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой сервиса и ремонта машин

E-mail: srmostu@mail.ru

Клявин Владимир Эрнстович

Липецкий государственный технический университет

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

Д.т.н., доцент, ГНС НИИ ЛГТУ

E-mail: vllk@list.ru

Сысоев Антон Сергеевич

Липецкий государственный технический университет

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

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой

E-mail: anton_syssoev@mail.ru

I.A. CHEBYKIN, A.N. NOVIKOV, V.E. KLYAVIN, A.S. SYSOEV

**IMPROVEMENT OF ADAPTIVE CONTROL OF TRAFFIC FLOWS
AT A TRAFFIC LIGHT OBJECT**

Abstract. The article considers methodological aspects related to the adaptive traffic light control system based not on calculating the duration of phases, but on determining the required number of vehicles to be passed in each phase. It is assumed that modern technical capabilities of computer vision and neural networks will be used, which allow applying approaches typical for manual traffic control at intersections. The algorithm is based on constant monitoring and accounting of traffic intensity on the sections.

Keywords: traffic flow, traffic intensity, flow composition, average speed, traffic light object, adaptive control system

BIBLIOGRAPHY

1. Ostapenko P.V., Sultantemirova K.A., Saprykin O.N. Adaptivnoe upravlenie svetofornym ob"ektom na osnove mashinnogo obucheniya // Informatsionnye tekhnologii i nanotekhnologii (ITNT-2020): Sbornik trudov po materialam VI Mezhdunarodnoy konferentsii i molodezhnoy shkoly v 4 t. Samara: Samar. un-t. 2020. T. 4. Nauki o dannykh. 2020. S. 691-698.
2. Ovchinnikov D.V., Shevchenko E.A., Ufilin P.A. Primenenie neyronnykh setey v sistemakh umnykh svetoforov: vybor optimal'noy arkhitektury dlya analiza dorozhnogo trafika // Interekspo GEO-Sibir'. XX Mezhdunarodnyy nauchnyy kongress: sbornik materialov v 8 t. T. 7. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnologicheskaya konferentsiya molodykh uchennykh «Molodezh'. Innovatsii. Tekhnologii». Novosibirsk: SGUGiT. 2024. №2. S. 26-31. DOI 10.33764/2618-981X-2024-7-2.
3. Arkhipov D.A. Umnyy svetofor ili ispol'zovanie iskusstvennogo intellekta dlya upravleniya transportnymi potokami // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Vestnik nauki». №6(75). T. 1. 2024. S. 1389-1392.
4. Beklaryan A.L., Beklaryan L.A., Akopov A.C. Imitatsionnaya model' intellektual'noy transportnoy sistemy «umnogo goroda» s adaptivnym upravleniem svetoforami na osnove nechetkoy klasterizatsii // Biznes-informatika. 2023. T. 17. №3. S. 70-86. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.3.70.86.
5. Shepelev V.D., Al'metova Z.V., Moor A.D., Bersteneva V.I. Optimizatsiya raboty adaptivnykh svetoforov na osnove ispol'zovaniya mashinnogo zreniya // Vestnik YUUrGU. Seriya «Ekonomika i menedzhment». 2020. T. 14, № 1. S. 189-196. DOI: 10.14529/em200119.
6. Narnolia V., Jana U., Chattopadhyay S., Roy S. Generalized smart traffic regulation framework with dynamic adaptation and prediction logic using computer vision. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 937. R. 249-263. DOI: 10.1007/978-981-13-7403-6_24.
7. Chowdhury M.F., Ryad Ahmed Biplob M., Uddin J. Real time traffic density measurement using computer vision and dynamic traffic control. Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics and Vision and 2nd International Conference on Imaging, Vision and Pattern Recognition. Kitakyushu. Japan. 2018. DOI: 10.1109/ICIEV.2018.8641039.
8. Das A., Pai S., Shenoy V.S., Vinay T., Shylaja S.S. D2: Real-time dehazing in traffic video analytics by fast dynamic bilateral filtering. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1024. R. 127-137.
9. Kukoba I.A. Avtomatizirovanny podschet transportnykh sredstv na osnove komp'yuternogo zreniya. Analiz i raschet koeffitsienta zagruzhennosti avtomobil'noy dorogi [Elektronnyy resurs] / Aktual'nye issledovaniya. 2023. №49 (179). CH.I. S. 54-57. URL: <https://apni.ru/article/7703-avtomatizirovannij-podschet-transportnykh>.
10. TrafficData: Modul' monitoringa dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs]: sayt. URL: <https://traffic-data.tilda.ws/traffic-monitoring-module>.
11. Kretov A.YU. Obzor nekotorykh adaptivnykh algoritmov svetofornogo regulirovaniya perekrestkov // Izvestiya Tul'skogo gos. un-ta: Tekhnich. nauki. 2013. Vyp. 7. CH. 2. S. 61-66.
12. Agureev I.E., Matsur I.YU., Minakov E.I. Tul'skiy «Vzglyad» na soblyudenie pravil dorozhnogo dvizheniya // Dorogi. Innovatsii v stroitel'stve. № 10. 2011. S. 24-27.
13. V.D. Shepelev, Z.V. Al'metova, A.D. Moor, V.I. Bersteneva Optimizatsiya raboty adaptivnykh svetoforov na osnove ispol'zovaniya mashinnogo zreniya // Vestnik YUUrGU. Seriya «Ekonomika i menedzhment». 2020. T. 14, №1. S. 189-196. DOI: 10.14529/em200119.
14. Koonce P. i dr. Traffic Signal Timing Manual. Washington, DC: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2008.
15. Rassokha V.I., Nikitin N.A., Savina YU.E. Sravnenie effektivnosti algoritmov raschiota rezhima raboty svetofornogo ob"ekta // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. №4(54). 2020. S. 44-49.
16. Proydakova E.V., Reshetova A.A. Issledovanie sistemy massovogo obsluzhivaniya s adaptivnym algoritmom poiska razryva v potoke // Vestnik VGAVT. Vyp. 53. 2017. S. 36-41.

Chebykin Ivan Andreevich

Traffic Data LLC
Address: 614065, Russia, Perm, Cosmonaut Highway, 111
General manager
E-mail: ceo@traffikdata.ru

Novikov Alexander Nikolayevich

Oryol State University
Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya St., 77
Doctor of Technical Sciences
E-mail: srmotu@mail.ru

Klyavin Vladimir Ernstovich

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

Sysoev Anton Sergeevich

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

Научная статья

УДК 656.025.2

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-115-120

Л.О. САВИН, В.Д. АНТОНОВ, В.А. АКИМОЧКИН, И.С. ТЮРИН

РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПАССАЖИРСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ В ГОРОДСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема повышения эффективности пассажирских перевозок в рамках интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Основное внимание уделено вопросу мониторинга заполненности общественного транспорта, что является ключевым фактором для улучшения логистики и комфорта пассажиров. Авторы анализируют существующие технологии автоматического подсчёта пассажиров, выделяя их преимущества и недостатки. Предложенный подход позволяет пассажирам в режиме реального времени получать информацию о заполненности транспорта через мобильные приложения, что способствует более эффективному планированию маршрутов. Статья содержит классификацию подсистем ИТС, анализ современных сервисов мониторинга транспорта и практические рекомендации по внедрению выбранной технологии.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, пассажирские перевозки, мониторинг транспорта, автоматический подсчёт пассажиров, горизонтальный счётчик, логистика, общественный транспорт

Введение

Современные интеллектуальные транспортные системы (ИТС) играют ключевую роль в повышении эффективности, безопасности и экологичности перевозок. Однако, несмотря на развитие технологий мониторинга и управления транспортом, остаются нерешённые проблемы, такие как отсутствие информации о заполненности общественного транспорта в режиме реального времени. Это приводит к неудобствам пассажиров, вынужденных отказываться от переполненных автобусов и тратить время на поиск альтернативных маршрутов.

Цель данной работы – анализ существующих технологий автоматического подсчёта пассажиров и выбор оптимального решения для интеграции в систему мониторинга заполненности транспорта. В исследовании рассматриваются различные типы счётчиков, оцениваются их преимущества и недостатки, а также обосновывается выбор горизонтального счётчика как наиболее подходящего для практического внедрения. Реализация предложенного подхода позволит пассажирам заранее планировать поездки, повышая комфорт и эффективность пассажирских перевозок.

Материал и методы

Согласно определению [1] Интеллектуальная транспортная система (ИТС) – это комплекс систем и технологий, объединяющий информационные, телекоммуникационные и управляющие системы, предназначенный для повышения эффективности, безопасности и экологичности транспортной инфраструктуры.

Классификация, представленная на рисунке 1, захватывает только один раздел ИТС – «управление перевозками». Этот подраздел отвечает за мониторинг движения и планирование перевозок, которые подразделяются на два типа:

- общественный транспорт, который ориентирован на социальные задачи;
- коммерческие перевозки, ориентированные на рыночные задачи.

Сам по себе термин «пассажирская мобильность» означает комплексную систему, направленную на удовлетворение потребностей людей в перемещении с учётом технологических и социальных факторов.

На эффективность этой системы оказывают влияние ряд факторов, например таких как:

- обновление и модернизация общественного транспорта – позволяет обеспечить максимальный комфорт и безопасность для пассажиров;

- взаимодействие с пассажирами – отображает надёжность и качество предоставляемых пассажирам услуг, влияющих на популярность и спрос на пассажирские перевозки;
- доступность информации.

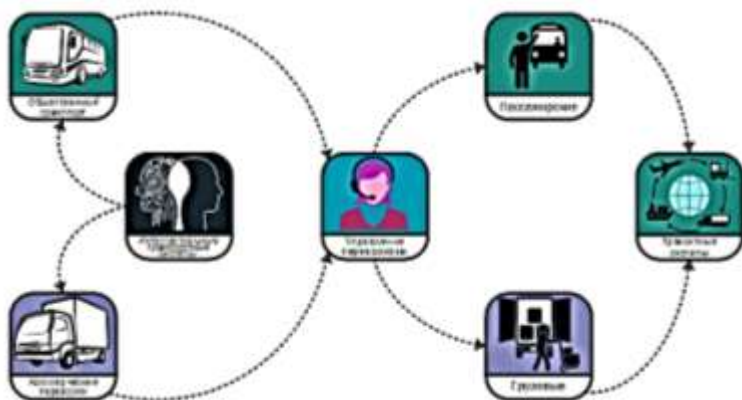


Рисунок 1 - Классификация Интеллектуальной Транспортной Системы (ИТС)

Общественный транспорт сегодня играет важную роль в жизни людей, так как горожан ежедневно пользуются им для перемещения по городу [2]. Поэтому развитие перечисленных факторов играет ключевую роль в качественной логистике пассажирских перевозок.

В настоящее время уже разработаны и успешно применяются программно-аппаратные средства и технологии, способствующие повышению эффек-

тивности транспортной системы. Они расширяют возможности пассажиров общественного транспорта, позволяя, подбирать наилучшие маршруты с учётом текущей дорожной обстановки [3, 4], а также в режиме реального времени отслеживать местоположение нужного транспорта через мобильные устройства. Примерами таких технологий могут быть сервисы для отслеживания движения общественного транспорта. Наиболее популярные из них приведены на рисунке 2.

Однако, несмотря на всю их полезность, удобство и высокую значимость для людей, пользующихся данными сервисами ежедневно, они все, без исключений, имеют значительный недостаток. Он заключается в том, что потенциальные пассажиры, дожидаясь очередного общественного транспорта, заведомо не могут знать о его заполненности, что приводит к опозданиям в пункт назначения, в случае переполненности прибывшего транспорта. Решение данной проблемы, позволит избегать таких ситуаций, позволяя пассажирам качественнее планировать свои маршруты движения, повышая логистику пассажирских перевозок.



Рисунок 2 - Популярные сервисы для отслеживания движения общественного транспорта



Рисунок 3 - Типы технических устройств, используемых для подсчета количества людей

Косвенное решение данной проблемы уже было предложено [2, 5]. Однако, оно требует более детального разбора и конкретики, поскольку предложенные подходы носят скорее теоретический характер и не учитывают всех практических аспектов реализации.

Для реализации решения проблемы, необходимо осуществлять сбор и анализ данных в режиме реального времени. Самые распространенные способы подсчета количества посетителей в разных системах делятся на типы, представленные на рисунке 3 [6].

Перечисленные устройства различаются по своей конструкции и принципах работы, однако все они решают одну задачу – они осуществляют автоматический учёт посетителей, проходящих через определённый проход [8, 9]. Несмотря на то, что приведённые технические средства предназначены для подсчета количества людей в здании, нам ничего не мешает «переманить» эти технологии на качественное решение нашей проблемы для подвижного общественного транспорта [10].

Теория

Для определения устройства, наиболее подходящего под данную проблему, необходимо выделить преимущества и недостатки каждого из них (рис. 4).

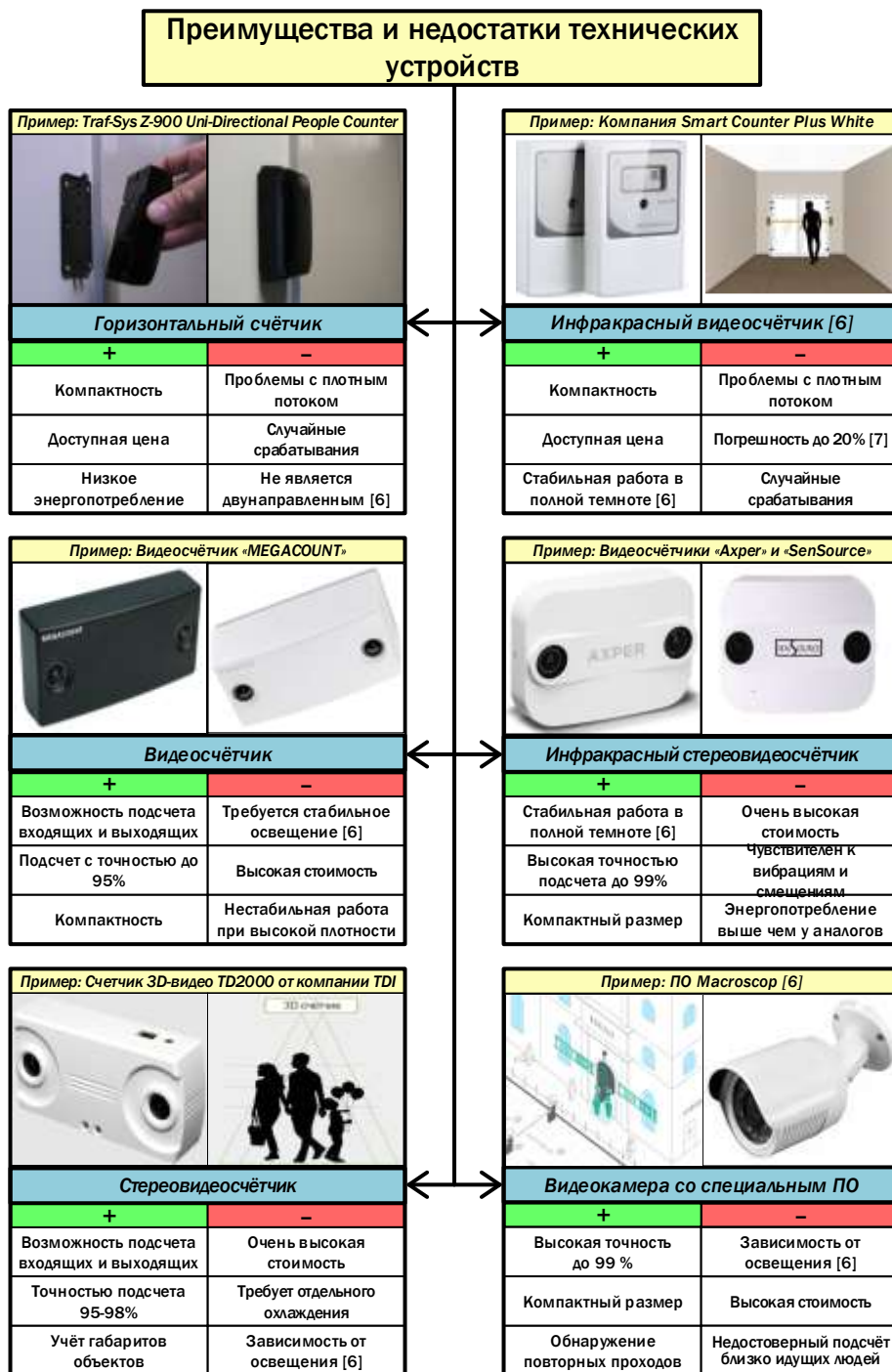


Рисунок 4 - Преимущества и недостатки технических устройств

Результаты и обсуждение

Проведённый анализ преимуществ и недостатков технических устройств (рис. 4), позволяющих производить подсчёт количества людей, позволяет сделать следующие выводы:

- Видеокамера со специальным ПО. Данная технология является отличным решением только в тех случаях, когда необходима масштабируемость, поскольку она поддерживает возможность объединения до 1000 видеокамер в единую систему. Более того, она поддерживает возможность распознавания возраста и пола человека, что будет явно-лишней функцией в решении данной проблемы. Следовательно, данный тип устройств не подходит под наш тип проблемы [7].

- Стере видео счётчик и видео счётчик являются отличным решением, однако они имеют значительный недостаток – «зависимость от освещения». Данный недостаток может быть критическим, поскольку в крупных городах маршрутные транспортные средства, например такие как автобусы, работают круглосуточно [11].

- Инфракрасный стере видео счётчик. В отличие от стере видео счётчика и видео счётчика устройства данного типа обладают инфракрасными датчиками, что позволяет им «видеть» в темноте [12]. Однако, такое количество преимуществ несёт за собой значительный недостаток – крайне высокая стоимость.

- Инфракрасный видео счётчик и горизонтальный счётчик. Обе эти технологии имеют недостатки, но они являются не критическими, более того они имеют «доступную» цену, что позволит быстро внедрить данную технологию в широкое пользование [14].

Следовательно, для решения выше указанной проблемы подходящими технологиями являются либо горизонтальный счётчик, либо инфракрасный видео счётчик [15]. Сделаем выбор в пользу горизонтального счётчика и становимся на нём.

Идея заключается в том, чтобы установить горизонтальный счётчик на вход и выходы маршрутных транспортных средств (рис. 5). Счётчик, расположенный на входе в транспортное средство (ТС) [13], будет фиксировать прибавление к общей численности пассажиров, находящихся в нем, тогда как счётчик, расположенный на выходе, будет фиксировать количество людей, покинувших ТС.

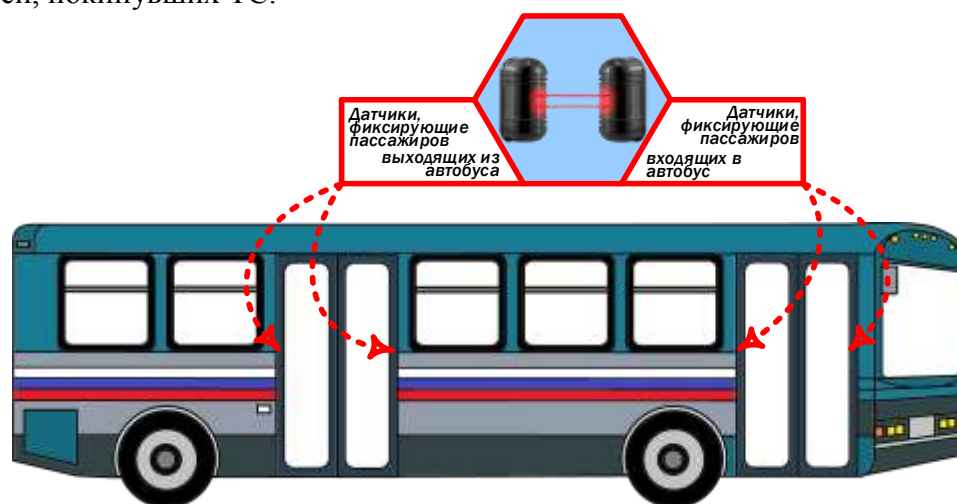


Рисунок 5 - Пример реализации решения проблемы

Выводы

Таким образом, люди, находящиеся в ожидании нужного ТС, смогут заранее, посредством приложений, приведённых на рисунке 2 определить, будет ли у них возможность добраться до пункта назначения на выбранном ТС, или же наоборот, в случае 100 % заполнения ожидаемого ТС, потенциальные пассажиры смогут заранее приступить к выбору альтернативного маршрута движения, который позволит им вовремя добраться в пункт назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 56829 - 2015. Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения. Москва: Стандартинформ 2018. 14 с.
2. Кузнецов А.А. Применение искусственного интеллекта для решения проблемы переполненности и длительности ожидания общественного транспорта // Научный аспект. 2024. Т. 44. №6. С. 5504-5508.
3. Паршина С.С., Куликов А.В. Оценка эффективности функционирования городского пассажирского общественного транспорта. 2012. С. 220-225.
4. Safiullin R., Epishkin A., Safiullin R., Naotian T. Method of forming an integrated automated control system for intelligent objects. 2021. С. 17-26.
5. Подсчёт пассажиров в общественном транспорте [Электронный ресурс] / ЕМ Групп (ЕвроМобайл) – инжиниринг и поставки решений и оборудования для беспроводной связи. URL: <https://www.euromobile.ru/solutions/transport/podschyot-passazhiropotoka/>.
6. Григорян Р.А. Анализ технических средств подсчета количества людей в здании, 2017.
7. Чирков Б.В., Варламов Д.В. Определение количества людей в здании // Проблемы техносферной безопасности: Материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. 2015. №4. С. 91-93.
8. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Исследование степени насыщения пересечения при учете классификации легковых автомобилей // Автотранспортное предприятие. 2014. №5. С. 51-53.
9. Зырянов В.В., Ветрова Т.А. Теоретические основы динамического управления маршрутами общественного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-3(86). С. 14-21. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-14-21. EDN MTLUKB.
10. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.
11. Архипов Д.А. Умный светофор или использование искусственного интеллекта для управления транспортными потоками // Вестник науки. №6(75). Т. 1. 2024. С. 1389-1392.
12. Бекларян А.Л., Бекларян Л.А., Акопов А.С. Имитационная модель интеллектуальной транспортной системы «умного города» с адаптивным управлением светофорами на основе нечеткой кластеризации // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. №3. С. 70-86. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.3.70.86.
13. Шепелев В.Д., Альметова З.В., Моор А.Д., Берстенева В.И. Оптимизация работы адаптивных светофоров на основе использования машинного зрения // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2020. Т. 14, № 1. С. 189–196. DOI: 10.14529/em200119.
14. Кукоба И.А. Автоматизированный подсчет транспортных средств на основе компьютерного зрения. Анализ и расчет коэффициента загруженности автомобильной дороги [Электронный ресурс] / Актуальные исследования. 2023. №49 (179). Ч.1. С. 54-57. URL: <https://apni.ru/article/7703-avtomatizirovannij-podschet-transportnikov>.
15. TrafficData: Модуль мониторинга дорожного движения [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://traffic-data.tilda.ws/traffic-monitoring-module>.

Савин Леонид Олегович

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35
Сотрудник
E-mail: leonidys77@yandex.ru

Антонов Владимир Дмитриевич

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35
Сотрудник
E-mail: vova_lit_90@mail.ru

Акимочкин Владимир Александрович

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35
Сотрудник
E-mail: vova.akimochkin@list.ru

Тюрин Илья Сергеевич

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35
Сотрудник
E-mail: ilya.tyurin2005@gmail.com

L.O. SAVIN, V.D. ANTONOV, V.A. AKIMOVICH, I.S. TYURIN

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT PASSENGER MOBILITY IN URBAN TRANSPORTATION

Abstract. The article addresses the pressing issue of improving the efficiency of passenger transportation within intelligent transport systems (ITS). The primary focus is on monitoring public transport occupancy, a key factor in enhancing logistics and passenger comfort. The authors analyze existing automated passenger counting technologies, highlighting their advantages and drawbacks. The proposed approach enables passengers to access real-time occupancy data via mobile applications, facilitating more efficient route planning. The article includes a classification of ITS subsystems, an analysis of modern transport monitoring services, and practical recommendations for implementing the selected technology.

Keywords: intelligent transport systems, passenger transportation, transport monitoring, automated passenger counting, horizontal sensor, logistics, public transport

BIBLIOGRAPHY

1. GOST R 56829 - 2015. Intellektual`nye transportnye sistemy. Terminy i opredeleniya. Moskva: Standartin-form 2018. 14 s.
2. Kuznetsov A.A. Primenenie iskusstvennogo intellekta dlya resheniya problemy perepolnennosti i dli-tel`nosti ozhidaniya obshchestvennogo transporta // Nauchnyy aspekt. 2024. T. 44. №6. S. 5504-5508.
3. Parshina S.S., Kulikov A.V. Otsenka effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo passazhirskogo ob-shchestvennogo transporta. 2012. S. 220-225.
4. Safiullin R., Epishkin A., Safiullin R., Haotian T. Method of forming an integrated automated control sys-tem for intelligent objects. 2021. S. 17-26.
5. Podschiot passazhirov v obshchestvennom transporte [Elektronnyy resurs] / EM Grupp (EvroMobayl) - in-zhiniring i postavki resheniy i oborudovaniya dlya besprovodnoy svyazi. URL: <https://www.euromobile.ru/solutions/transport/podschyot-passazhiropotoka/>.
6. Grigoryan R.A. Analiz tekhnicheskikh sredstv podscheta kolichestva lyudey v zdanii, 2017.
7. Chirkov B.V., Varlamov D.V. Opredelenie kolichestva lyudey v zdanii // Problemy tekhnosfernoy be-zopasnosti: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchionykh i spetsialistov. 2015. №4. S. 91-93.
8. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Issledovanie stepeni nasyshcheniya peresecheniya pri uchete klassifikatsii legkovykh avtomobiley // Avtotransportnoe predpriyatie. 2014. №5. S. 51-53.
9. Zyryanov V.V., Vetrova T.A. Teoreticheskie osnovy dinamicheskogo upravleniya marshrutami ob-shchestvennogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-3(86). S. 14-21. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-14-21. EDN MTLUKB.
10. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.
11. Arkhipov D.A. Umnyy svetofor ili ispol`zovanie iskusstvennogo intellekta dlya upravleniya transportnymi potokami // Vestnik nauki. №6(75). T. 1. 2024. S. 1389-1392.
12. Beklaryan L.A., Beklaryan L.A., Akopov A.C. Imitatsionnaya model` intellektual`noy transportnoy sistemy "umnogo goroda" s adaptivnym upravleniem svetoforami na osnove nechetkoy klasterizatsii // Biznes-informatika. 2023. T. 17. №3. S. 70-86. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.3.70.86.
13. Shepelev V.D., Al`metova Z.V., Moor A.D., Bersteneva V.I. Optimizatsiya raboty adaptivnykh svetoforov na osnove ispol`zovaniya mashinnogo zreniya // Vestnik YUUrGU. Seriya "Ekonomika i menedzhment". 2020. T. 14, № 1. S. 189-196. DOI: 10.14529/em200119.
14. Kukoba I.A. Avtomatizirovanny podschet transportnykh sredstv na osnove komp`yuternogo zreniya. Ana-liz i raschet koeffitsienta zagruzhennosti avtomobil`noy dorogi [Elektronnyy resurs] / Aktual`nye issledovaniya. 2023. №49 (179). CH.I. S. 54-57. URL: <https://apni.ru/article/7703-avtomatizirovanniy-podschet-transportnykh>.
15. TrafficData: Modul` monitoringa dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs]: sayt. URL: <https://traffic-data.tilda.ws/traffic-monitoring-module>.

Savin Leonid Olegovich

Academy of the Federal Protective Service of the RF
Address: 302020, Russia, Oryol, Priborostroitel'naya St.
Employee
E-mail: leonidys77@yandex.ru

Antonov Vladimir Dmitrievich

Academy of the Federal Protective Service of the RF
Address: 302020, Russia, Oryol, Priborostroitel'naya St.
Employee
E-mail: vova_lit_90@mail.ru

Akimochkin Vladimir Alexandrovich

Academy of the Federal Protective Service of the RF
Address: 302020, Russia, Oryol, Priborostroitel'naya St.
Employee
E-mail: vova.akimochkin@list.ru

Tyurin Ilya Sergeevich

Academy of the Federal Protective Service of the RF
Address: 302020, Russia, Oryol, Priborostroitel'naya St.
Employee
E-mail: ilya.tyurin2005@gmail.com

Научная статья

УДК 656.073.51+004.94

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-121-128

Р.Г. КОРОЛЬ

ИНФРАСТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СУХОПУТНЫХ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Аннотация. Теоретическая часть работы включает анализ объемов внешней торговли России и Китая, описание инфраструктурных проектов по развитию дальневосточных пограничных переходов, обоснована актуальность данной работы. В исследовательской части выполнен анализ загруженности автомобильного пункта пропуска Забайкальск, предложено перенаправление части транспортного потока с пункта пропуска Забайкальск на пункт пропуска Олочи, представлена схема работы программы имитационного моделирования и интерфейс программы, произведено моделирование работы автомобильного пункта пропуска Олочи по пяти сценариям инфраструктурно-технологического развития, включая подведение железнодорожной инфраструктуры для организации мультимодального транспортного коридора.

Ключевые слова: трансграничный переход, пункты пропуска, имитационное моделирование, приграничная транспортно-логистическая инфраструктура

Введение

Вектор внешней торговли России сегодня направлен на рынки стран Азиатско-Тихоокеанского региона, на которые приходится порядка 72 % внешнеторгового товарооборота [1]. Основным торговым партнером России является Китай, товарооборот с которым по итогам 2024 года составил 244,8 млрд долларов, что выше показателей 2023 года на 1,9 % [2]. На рисунке 1 представлен анализ динамики объемов внешней торговли России и Китая, за период с 2018 по 2023 годы рост составил 140 %. Согласно прогнозным оценкам к 2030 году товарооборот двух стран должен достигнуть 300 млрд. долларов [3].

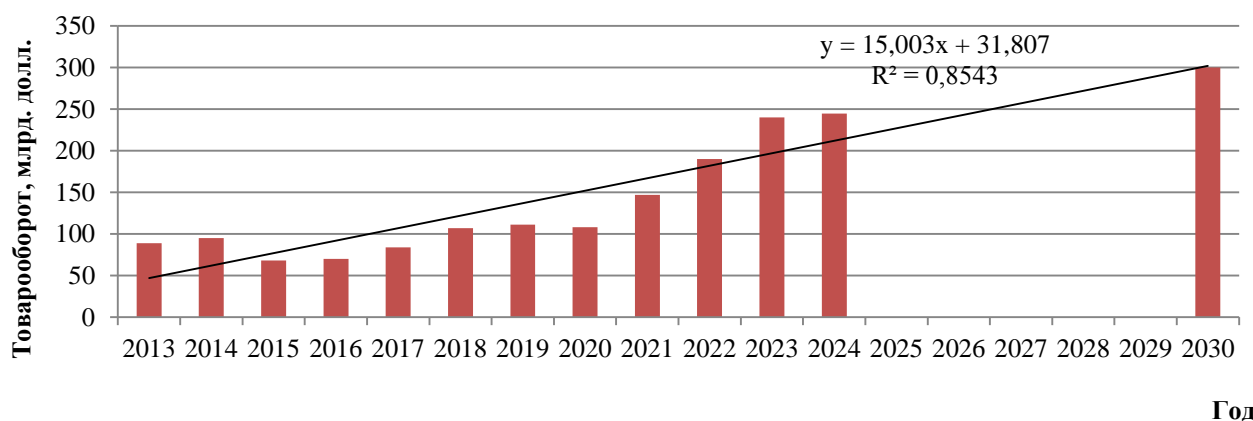


Рисунок 1 - Динамика товарооборота России и Китая за 2013 по 2024 годы с прогнозом на 2030 год

Международное сообщение между Россией и Китаем обеспечивают морские и сухопутные пограничные пункты пропуска Дальнего Востока [4]. На протяжении 550 километров южные дальневосточные регионы граничат с промышленными северо-восточными провинциями Китая [5]. Поэтому развитие транспортно-логистической системы Дальнего Востока является приоритетной задачей повышения устойчивости международной торговли [6]. Перемещение транспортных и грузовых потоков между транспортными системами смежных стран осуществляется через трансграничные переходы. В настоящее время реализуются масштабные проекты по усилению инфраструктурного развития трансграничного перехода «Забайкальск - Маньчжурия», строительству транспортно-

логистического центра «Терминал Забайкальск» (Забайкальский край) и «Нижнеленинское» (ЕАО), строительству железнодорожного мостового перехода «Джалинда – Мохэ» (Амурская область), реконструкции пунктов пропуска «Пограничный» и «Краскино» в Приморском крае. Для обслуживания мультимодальных транспортных узлов Приморского края будет создан контейнерный «сухой порт» в городе Артем [7]. Перечисленные проекты позволят увеличить пропускные и перерабатывающие мощности дальневосточной транспортной системы для освоения перспективных объемов грузопотока [8].

Формирование новых и развитие существующих приграничных транспортно-логистических объектов делают актуальным вопрос распределения грузовых потоков в системе трансграничных переходов [9]. В условиях наличия инфраструктурных ограничений и неравномерной загруженности пограничных пунктов пропуска требуются разработки методических подходов по организации стабильного функционирования транспортно-логистических объектов трансграничных переходов при пропуске прогнозных значений грузопотока с учетом соответствующего инфраструктурно-технологического развития [10].

Материал и методы

С помощью математических и информационно-аналитических инструментов осуществляется оценка текущего инфраструктурно-технологического развития пограничных пунктов пропуска и анализ функционирования трансграничного перехода при изменении различных параметров [11]. Автором разработана программа автоматизированного расчета перерабатывающей способности приграничных терминально-логистических объектов сухопутных пунктов пропуска (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2023664654). В работе описывается алгоритм и представлено имитационное моделирование процессов переработки растущих объемов внешнеторгового грузопотока на объектах приграничного терминально-логистического комплекса путем подведения дополнительной транспортной инфраструктуры. В работе использованы методы моделирования, анализа и сценариев.

Теория и расчет

На территории Дальнего Востока наибольшее количество сухопутных трансграничных переходов расположено в Приморском, Хабаровском и Забайкальском краях [12]. Трансграничный переход «Забайкальск – Маньчжурия» включает железнодорожный и автомобильный пункты пропуска. Международный автомобильный пункт пропуска (МАПП) Забайкальск обеспечивает пропуск более 500 транспортных средств ежесуточно, при проектной пропускной способности 280 автомобилей в сутки. В октябре 2024 года среднесуточный пропуск автомобилей при въезде в Россию составил 443 автомобилей, при выезде 293 автомобилей. На рисунке 2 графически представлена суточная интенсивность пропуска автомобильных транспортных средств через пункт пропуска Забайкальск.

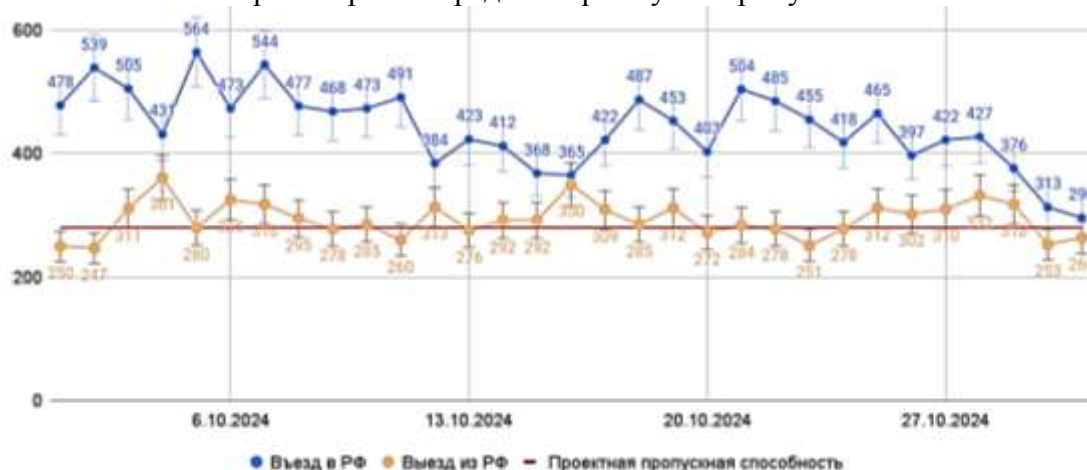


Рисунок 2 - Загруженность автомобильного пункта пропуска Забайкальск

Повышение интенсивности и объемов перемещения транспортных средств в международном сообщении приводит к увеличению загруженности инфраструктуры и сотрудников пограничных пунктов пропуска, как следствие, образуются очереди транспортных средств в ожидании контрольных процедур, что приводит к увеличению сроков доставки [13]. Перенаправление части транспортного потока с МАПП Забайкальск на пограничный пункт пропуска Олочи позволит минимизировать влияние существующих инфраструктурно-технологических ограничений на объемы пропуска. Трансграничный переход «Олочи – Шивэй» находится в трёхстах километрах от МАПП Забайкальск и имеет пропускную способность 20 автотранспортных средств в обоих направлениях. Пограничный пункт пропуска Олочи относится к малодетальным переходам со слабо развитым инфраструктурным оснащением, при этом данный пункт пропуска включен в перечень приоритетных объектов Дальнего Востока для модернизации. В исследовании рассматривается развитие терминально-логистической инфраструктуры пограничного пункта пропуска Олочи путем организации контейнерной площадки с соответствующим подъемно-транспортным оборудованием и дальнейшим подведением железнодорожной инфраструктуры. Оценка инфраструктурно-технологических решений по развитию пограничных пунктов пропуска может быть произведена с помощью инструментов имитационного моделирования [14]. Принципиальная схема работы разработанной программы имитационного моделирования приведена на рисунке 3.

Принцип работы программы основан на последовательном перемещении единиц груза (контейнеров) через технологические участки пограничного пункта пропуска с учетом направления движения (экспорт, импорт) [15]. Входные данные включают количественные параметры инфраструктурного оснащения и параметры технологического процесса пограничного пункта пропуска. Железнодорожная составляющая в программе представлена в виде количества и вместимости примыкающих путей. Результаты моделирования отображаются в итоговом отчете, который формируется программой в автоматическом режиме.

Моделирование работы пограничного пункта пропуска Олочи произведено по пяти сценариям инфраструктурно-технологического развития. Пропускная и перерабатывающая способность смежного пограничного пункта пропуска Шивэй (КНР) в процессе моделирования не учитывается и принимается равнозначным инфраструктурно-технологическому развитию пункта пропуска Олочи. Первый сценарий направлен на анализ технологических возможностей пункта пропуска при максимальных суточных объемах работы, вместимость контейнерной площадки 200 конт.-мест. Целью второго сценария моделирования является визуализация результатов работы пункта пропуска Олочи при трехкратном увеличении поступающего внешнеторгового контейнеропотока и установке дополнительного подъемно-транспортного механизма. В третьем сценарии смоделировано функционирование пограничного пункта пропуска в условиях развития терминальной инфраструктуры и перехода на круглосуточный режим работы. Для обработки повышенных объемов перемещаемого контейнеропотока была увеличена вместимость контейнерной площадки до 400 конт.-мест, количество подъемно-транспортного оборудования составило 3 единицы. Освоение повышенных объемов внешнеторгового грузопотока потребует строительства автомобильного моста с двухполосным движением для пропуска транспортного потока обоих направлений (экспорт-импорт) через трансграничный переход.

Имитационное моделирование по четвертому и пятому сценариям включают усиление перерабатывающей способности пограничного пункта пропуска Олочи путем подведения железнодорожной инфраструктуры к терминальным объектам. В исходных данных были дополнительно введены параметры с учетом экспортного и импортного направления движения грузопотока: количество путей сортировочного парка и их вместимость, вместимость подвижного состава по грузовым фронтам терминалов, временные значения обработки вагонопотока [16]. На рисунке 4 представлен интерфейс программы с блоками вводимых данных автомобильной и железнодорожной систем трансграничного перехода.

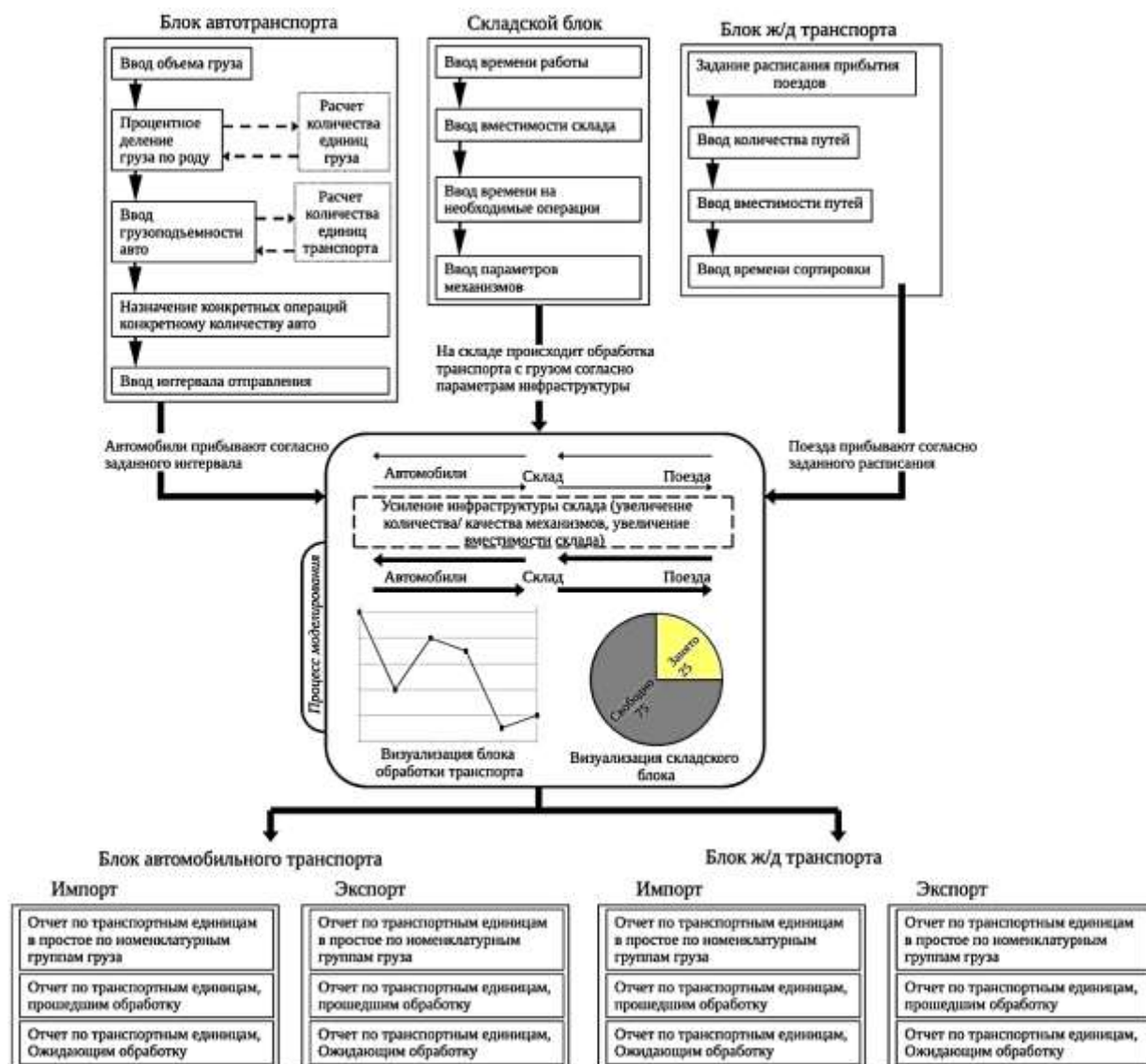


Рисунок 3 - Принципиальная схема работы программы моделирования

В процессе моделирования анализировались инфраструктурно-технологические решения по организации и развитию контейнерной площадки пограничного пункта пропуска [17]. При этом программный продукт позволяет исследовать возможности сухопутных трансграничных переходов, в том числе, по перемещению навалочных и тарно-штучных грузов с соответствующим инфраструктурным развитием.

Результаты и обсуждение

Итоговые результаты имитационного моделирования сведены в таблицу 1, которая включает основные входные параметры и показатели, отражающие количественные и качественные изменения функционирования пограничного пункта пропуска Олочи.

В первом сценарии моделирования работы автомобильного пункта пропуска Олочи было обработано 59 контейнеров в международном сообщении, в ожидании грузовых операций образовалась очередь из 56 транспортных средств, при этом резерв емкости контейнерной площадки к концу суток составил 61 %. Второй сценарий моделирования показывает увеличение загруженности площадки до 77 % при обработке 212 контейнеров двумя подъемно-транспортными механизмами и дополнительных четырех часах работы пункта пропуска. Для минимизации очереди транспортных средств в ожидании операций в третьем сценарии моделирования принято решение о переходе на круглосуточный режим

работы пункта пропуска и увеличении количества механизмов. Данные решения позволили повысить пропуск до 328 транспортных средств и обработку 344 контейнеров. Загруженность терминальных мощностей составила 91 %. Подведение железнодорожной инфраструктуры к грузовым объектам пограничного пункта пропуска с увеличением количества подъемно-транспортных механизмов, согласно четвертому и пятому сценариям моделирования, обеспечило сокращение количества контейнеров в ожидании операций на терминале и уменьшение загруженности площадки до 31 %. При этом часть контейнеропотока с автомобильного транспорта перешло на железнодорожный транспорт, что повысило перерабатывающую и пропускную способность пункта пропуска Олочи для приема перспективных объемов внешнеторговых грузов.

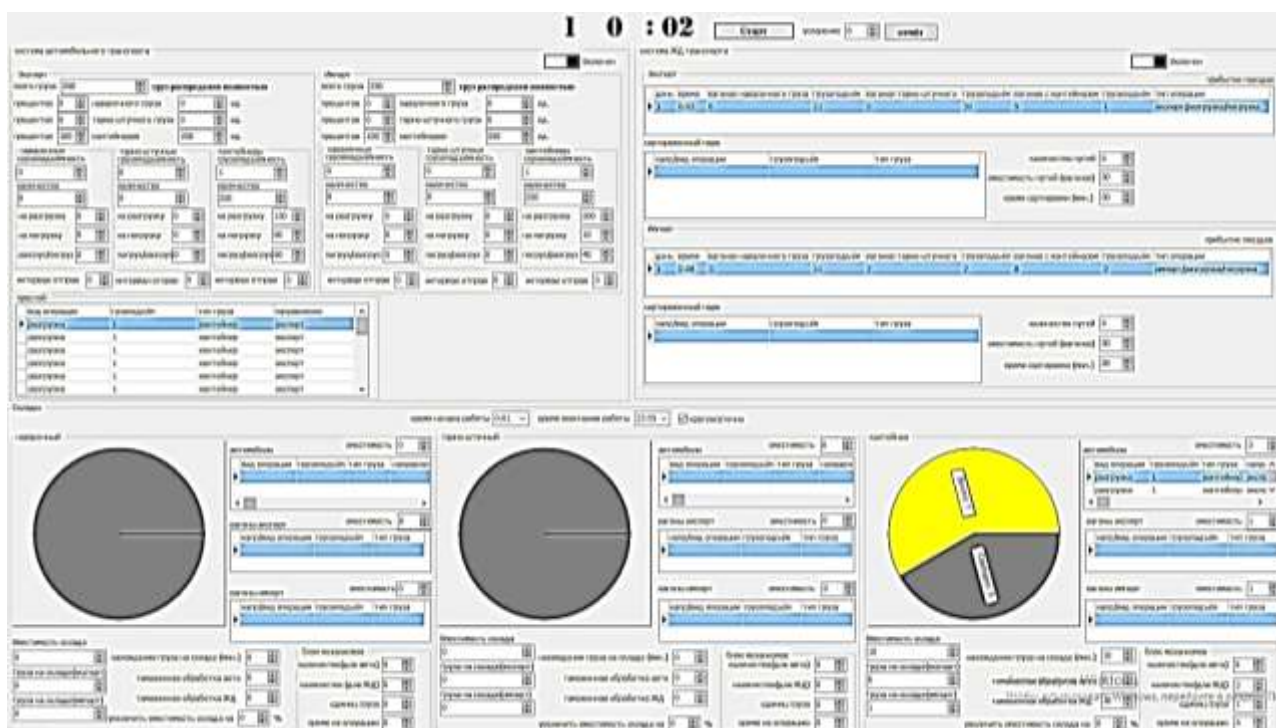


Рисунок 4 - Интерфейс программы

Таблица 1 - Результаты суточного моделирования

Сценарий моделирования	Время работы пункта пропуска, час.	Количество перемещаемых контейнеров, ед.	Количество автомобилей в ожидании операций, ед.	Количество контейнеров в ожидании операций, ед.	Количество механизмов, ед.	Загруженность площадки, %
при инфраструктурно-технологическом развитии автомобильного пункта пропуска						
I	10	100	56	41	1	39
II	14	300	119	88	2	77
III	24	400	72	56	3	91
при подведении к пункту пропуска железнодорожной инфраструктуры						
IV	24	500	25	17	5	45
V	24	500	3	-	6	31

Экономическая эффективность перенаправления части грузового и транспортного потоков между пограничными пунктами пропуска зависит от затрат времени и финансовых средств на реализацию данного решения [18]. Продолжительность движения транспортных

средств до пункта пропуска Олочи должна быть меньше, чем продолжительность нахождения автомобиля в очереди в ожидании пропуска на МАПП Забайкальск. Срок доставки и стоимость транспортировки внешнеторговых грузов определяют выбор рационального варианта перевозки в системе сухопутных трансграничных переходов региона. Использование математических моделей для оценки вариантов распределения грузопотоков в системе трансграничных переходов является одним из эффективных инструментов принятия решений и прогнозирования параметров функционирования системы в различных условиях организации ее работы [19]. Для этого необходимо формирование информационно-аналитической базы, которая позволит учесть возможные логистические риски и влияние внешних факторов на движение транспортного потока в рассматриваемых системах [20].

Выводы

В условиях активно развивающейся внешней торговли России и Китая система трансграничной инфраструктуры Дальнего Востока находится в состоянии повышенной загрузки и имеет ограниченную пропускную способность, поэтому вопрос организации и оптимизации распределения транспортных потоков внутри этой системы имеет стратегическое значение [21]. В исследовательской части работы произведено моделирование перерабатывающей способности терминально-логистических объектов автомобильного пункта пропуска Олочи для оценки возможности перенаправления части транспортного потока с МАПП Забайкальск, где образуются очереди автотранспорта в ожидании пропуска через государственную границу.

Перспективное инфраструктурно-технологическое развитие пограничного пункта пропуска Олочи связано с формированием мультимодального транспортного коридора, включающего автомобильные и железнодорожные объекты. В приграничном регионе Забайкальского края для передачи грузопотока между двумя видами транспорта, возможно, использовать складские мощности железнодорожной станции Краснокаменск, имеющую соответствующую инфраструктуру для обработки контейнерных и контейнерных перевозок [22]. Для освоения значительных объемов внешнеторговых грузопотоков в долгосрочной перспективе предложено подведение железнодорожной инфраструктуры к трансграничному переходу «Олочи – Шивэй», в том числе к терминальным объектам пограничного пункта пропуска. Данное решение было заложено в сценариях имитационного моделирования и результаты показали повышение эффективности обслуживания контейнеропотоков на международном направлении.

Проектирование нейросетевых моделей и разработка научно-методических рекомендаций, направленных на комплексный подход к распределению транспортных и грузовых потоков в системе трансграничных переходов и пунктов пропуска является приоритетным направлением научных исследований дальневосточных транспортных университетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бардаль А.Б. Развитие трансграничной транспортной инфраструктуры между РФ и КНР // Россия и Китай: история и перспективы сотрудничества. 2024. № 14. С. 418-423. EDN TNXNCV.
2. Товарооборот России и Китая по итогам 2024 года вырос на 1,9 процента [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20250113/kitay-1993406948.html>.
3. Король Р.Г., Подолинная С.Д. Терминально-логистическое взаимодействие при проектировании трансграничной инфраструктуры // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-1(84). С. 131-139. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-131-139.
4. Мустафин Д.Р., Рахмангулов А.Н. Развитие международных транспортных коридоров на направлении «Китай - западная Европа» // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: сборник статей международной научно-практической конференции. Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2022. С. 405-411. EDN XKZYU.
5. Король Р.Г., Числов О.Н. Об увеличении пропускной способности смешанных (автомобильно-речных) пунктов пропуска на российско-китайской трансграничной территории // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2023. № 2. С. 23-28. DOI 10.36535/0236-1914-2023-02-4.
6. Сеницына А.С., Некрасов А.Г., Конарева Н.А., Ларин О.Н. и др. Основные направления развития транспортно-логистических систем в едином транспортном пространстве: монография // ООО «Русайнс».

Москва, 2022. 130 с. EDN QUWMWE.

7. Пугачев И.Н., Король Р.Г., Нестерова Н.С. Развитие транспортно-логистического комплекса Дальневосточного региона России // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2022. №4(33). С. 25-34. EDN FANMES.

8. Мамаев Э.А., Гуда А.Н., Финоченко В.А., Годованый К.А. Транспортно-логистические системы в условиях системных изменений в экономике // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2022. №2(86). С. 145-154. EDN KVKKYG.

9. Попадюк А.Ю., Коровяковский Е.К. Об организации международных цепей доставки грузов // Бюллетень результатов научных исследований. 2020. №2. С. 100-110. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-2-100-110.

10. Числов О.Н., Мизгирева Е.Е. К вопросу моделирования инфраструктурно-технологического взаимодействия в транспортных узлах // Вестник транспорта Поволжья. 2023. №3(99). С. 86-91. EDN WIQZFI.

11. Козлов П.А., Колокольников В.С., Копылова Е.В. Об имитационном моделировании и имитационных системах // Транспорт Урала. 2019. №1(60). С. 3-6. DOI 10.20291/1815-9400-2019-1-3-6.

12. Подолинная С.Д. Развитие внешнеторговых связей России через систему приграничных транспортно-логистических центров // Молодая наука Сибири. 2023. №4(22). С. 62-69. EDN SPYETP.

13. Лебедева А.Ю., Афонин П.Н. Комплексный подход к интеллектуализации фактического таможенного контроля в парадигме интеллектуального пункта пропуска // Russian journal of management. 2023. Т. 11. №3. С. 90-101. EDN GYASTX.

14. Казаков А.Л., Жарков М.Л., Супруновский А.В. О моделировании трансграничных российско-монгольских железнодорожных перевозок // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2022. №3(55). С. 23-32. DOI 10.20291/2079-0392-2022-3-23-32.

15. Хашев А.И., Мамаев Э.А., Гуда А.Н. Комбинированное имитационно-аналитическое моделирование в транспортно-логистических системах // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2022. №1(85). С. 117-125. DOI: 10.46973/0201-727X_2022_1_117.

16. Вакуленко С.П., Куренков П.В., Лёвин С.Б., Астафьев А.В., Садчикова В.А. Методика определения пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных пограничных пунктов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2022. №3. С. 8-13. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-03-2.

17. Кузнецов А.Л., Галин А.В., Попов Г.Б. Дискретно-событийное моделирование грузовых фронтов контейнерного терминала // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2023. Т. 15. №4. С. 589-602. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-589-602.

18. Покровская О.Д., Марченко М.А., Кукушкина Я.В. Совершенствование аналитического метода расчёта наличной пропускной способности с применением инструментов имитационного моделирования // International journal of advanced studies. 2023. Т. 13. №1. С. 159-180. EDN KLGCGG.

19. Москвичев О.В., Третьяков Г.М., Москвичева Е.Е., Васильев Д.В. Внедрение интеллектуальных технологий в производственную деятельность терминально-логистических объектов // Вестник транспорта Поволжья. 2020. №3(81). С. 61-68. EDN QQIGHX.

20. Пакулина Е.В., Покровская О.Д., Мигров А.А. Анализ логистических рисков в современных условиях // International journal of advanced studies. 2023. Т. 13. №2. С. 172-196. EDN BVWXVJ.

21. Король Р.Г., Акельев А.С. Распределение грузопотоков в системе пограничных пунктов пропуска транспортного коридора «Приморье-2» // Наука и техника транспорта. 2023. С. 52-59. EDN RJFFNQ.

22. Левков А.А., Король Р.Г. Комплексный подход к развитию пропускной способности трансграничных переходов Дальнего Востока // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2024. Т. 1. С. 230-234. EDN XETIMS.

Король Роман Григорьевич

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Адрес: 680021, Россия, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47

К.т.н., доцент, зав. кафедрой «Технология транспортных процессов и логистика»

E-mail: kingkhv27@mail.ru

R.G. KOROL

INFRASTRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF LAND-BASED CROSS-BORDER CROSSINGS

Abstract. *The theoretical part of the work includes an analysis of the volume of foreign trade between Russia and China, a description of infrastructure projects for the development of Far Eastern border crossings, and the relevance of this work is substantiated. The research part analyzes the traffic at the Zabaikalsk automobile checkpoint, suggests redirecting part of the traffic flow from the Zabaikalsk checkpoint to the Oloch checkpoint, presents the scheme of the simulation program and the program interface, simulates the operation of the Oloch automobile checkpoint according to five scenarios of infrastructural and technological development, including the construction of railway infrastructure for the organization of a multimodal transport corridor.*

Keywords: *cross-border crossing, checkpoints, simulation modeling, cross-border transport and logistics infrastructure*

BIBLIOGRAPHY

1. Bardal' A.B. Razvitie transgranichnoy transportnoy infrastruktury mezhdu RF i KNR // Rossiya i Kitay: istoriya i perspektivy sotrudnichestva. 2024. № 14. S. 418-423. EDN TNXNCV.
2. Tovaroorobot Rossii i Kitaya po itogam 2024 goda vyros na 1,9 protsenta [Elektronnyy resurs]. URL: <https://ria.ru/20250113/kitay-1993406948.html>.
3. Korol' R.G., Podolinnaya S.D. Terminal'no-logisticheskoe vzaimodeystvie pri proektirovanii transgranichnoy infrastruktury // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №1-1(84). S. 131-139. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-131-139.
4. Mustafin D.R., Rakhmangulov A.N. Razvitie mezhdunarodnykh transportnykh koridorov na napravlenii «Kitay - zapadnaya Evropa» // Infokommunikatsionnye i intellektual'nye tekhnologii na transporte: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Lipetsk: Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2022. S. 405-411. EDN XKZYU.
5. Korol' R.G., Chislov O.N. Ob uvelichenii propusknoy sposobnosti smeshannykh (avtomobil'norechnykh) punktov propuska na rossiysko-kitayskoy transgranichnoy territorii // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2023. № 2. S. 23-28. DOI 10.36535/0236-1914-2023-02-4.
6. Sinitsyna A.S., Nekrasov A.G., Konareva N.A., Larin O.N. i dr. Osnovnye napravleniya razvitiya transportno-logisticheskikh sistem v edinom transportnom prostranstve: monografiya // OOO «Rusayns». Moskva, 2022. 130 s. EDN QUWMWE.
7. Pugachev I.N., Korol' R.G., Nesterova N.S. Razvitie transportno-logisticheskogo kompleksa Dal'nevostochnogo regiona Rossii // Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona. 2022. №4(33). S. 25-34. EDN FANMES.
8. Mamaev E.A., Guda A.N., Finochenko V.A., Godovanyy K.A. Transportno-logisticheskie sistemy v usloviyakh sistemnykh izmeneniy v ekonomike // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2022. №2(86). S. 145-154. EDN KVKKYG.
9. Popadyuk A.YU., Korovyakovskiy E.K. Ob organizatsii mezhdunarodnykh tsepey dostavki gruzov // Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy. 2020. №2. S. 100-110. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-2-100-110.
10. Chislov O.N., Mizgireva E.E. K voprosu modelirovaniya infrastruktarno-tekhnologicheskogo vzaimodeystviya v transportnykh uzлах // Vestnik transporta Povolzh'ya. 2023. №3(99). S. 86-91. EDN WIQZFI.
11. Kozlov P.A., Kolokol'nikov V.S., Kopylova E.V. Ob imitatsionnom modelirovanii i imitatsionnykh sistemakh // Transport Urala. 2019. №1(60). S. 3-6. DOI 10.20291/1815-9400-2019-1-3-6.
12. Podolinnaya S.D. Razvitie vneshnetorgovykh svyazey Rossii cherez sistemu prigranichnykh transportno-logisticheskikh tsentrov // Molodaya nauka Sibiri. 2023. №4(22). S. 62-69. EDN SPYETP.
13. Lebedeva A.YU., Afonin P.N. Kompleksnyy podkhod k intellektualizatsii fakticheskogo tamozhennogo kontrolyakh v paradigme intellektual'nogo punkta propuska // Russian journal of management. 2023. T. 11. №3. S. 90-101. EDN GYASTX.
14. Kazakov A.L., ZHarkov M.L., Suprunovskiy A.V. O modelirovanii transgranichnykh rossiysko-mongol'skikh zheleznodorozhnykh perezovozok // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2022. №3(55). S. 23-32. DOI 10.20291/2079-0392-2022-3-23-32.
15. Hashev A.I., Mamaev E.A., Guda A.N. Kombinirovannoe imitatsionno-analiticheskoe modelirovanie v transportno-logisticheskikh sistemakh // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2022. №1(85). S. 117-125. DOI: 10.46973/0201-727X_2022_1_117.
16. Vakulenko S.P., Kurenkov P.V., Liovin S.B., Astaf'ev A.V., Sadchikova V.A. Metodika opredeleniya propusknoy i pererabatyvayushchey sposobnosti zheleznodorozhnykh pogranichnykh punktov // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2022. №3. S. 8-13. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-03-2.
17. Kuznetsov A.L., Galin A.V., Popov G.B. Diskretno-sobytiynoe modelirovanie gruzovykh frontov konteynernogo terminala // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2023. T. 15. №4. S. 589-602. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-589-602.
18. Pokrovskaya O.D., Marchenko M.A., Kukushkina YA.V. Sovershenstvovanie analiticheskogo metoda raschiota nalichnoy propusknoy sposobnosti s primeneniem instrumentov imitatsionnogo modelirovaniya // International journal of advanced studies. 2023. T. 13. №1. S. 159-180. EDN KLGCGG.
19. Moskvichev O.V., Tretyakov G.M., Moskvicheva E.E., Vasil'ev D.V. Vnedrenie intellektual'nykh tekhnologiy v proizvodstvennyuyu deyatel'nost' terminal'no-logisticheskikh ob'ektov // Vestnik transporta Povolzh'ya. 2020. №3(81). S. 61-68. EDN QQIGHX.
20. Pakulina E.V., Pokrovskaya O.D., Migrov A.A. Analiz logisticheskikh riskov v sovremennykh usloviyakh // International journal of advanced studies. 2023. T. 13. №2. S. 172-196. EDN BVWVJ.
21. Korol' R.G., Akelev A.S. Raspredelenie gruzopotokov v sisteme pogranichnykh punktov propuska transportnogo koridora «Primor'e-2» // Nauka i tekhnika transporta. 2023. S. 52-59. EDN RJFFNQ.
22. Levkov A.A., Korol' R.G. Kompleksnyy podkhod k razvitiyu propusknoy sposobnosti transgranichnykh perekhodov Dal'nego Vostoka // Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke. 2024. T. 1. S. 230-234. EDN XETIMS.

Korol Roman Grigorievich

Far Eastern State Transport University

Address: 680021, Russia, Khabarovsk, Serysheva St., 47

Candidate of Technical Sciences

E-mail: kingkhv27@mail.ru

В.Н. ТРЕГУБОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИНХРОНИЗАЦИИ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Аннотация. В работе рассматриваются основные аспекты использования механизмов синхронизации в логистическом управлении. Анализируется, как традиционное восприятие синхронизации в форме простого согласования логистических процессов во времени, так и ее понимание в рамках теории самоорганизации. Авторами выполнен анализ механизмов синхронизации в рамках различных логистических концепций. Обсуждаются сложности обеспечения синхронизации в логистике, связанные с изменчивостью уровней заказов и предложений, а также взаимодействием элементов в цепи поставок. В эмпирической части представлен подход к решению задачи синхронизации в транспортно-логистической системе с использованием возможностей генеративного искусственного интеллекта и его визуализация с использованием возможностей диаграмм Ганта.

Ключевые слова: синхронизация, логистическая концепция, точно вовремя, генеративный искусственный интеллект, кросс-докинг, синхронизированное производство, диаграммы Ганта, ГИИ

Введение

Важную роль в рамках логистической концепции играет синхронизация логистических процессов, которая значительно повышает общую эффективность всей системы. Синхронизация позволяет улучшить производительность за счет увеличения скорости перемещения материалов, повышения отзывчивости системы, уменьшения количества точек уязвимости и более эффективного использования ресурсов.

Синхронизация в логистике - это не просто согласование процессов по времени, но и важный фактор для обеспечения эффективного управления на основе самоорганизации. Современные исследования описывают потенциал синхронизации в создании умных логистических цепей, использовании интернета вещей (IoT) и автономной логистике. Автономная логистика в перспективе позволит синхронизировать внутрипроизводственные процессы в реальном времени, что особенно важно для крупных цепей поставок, где традиционные методы управления часто оказываются недостаточно эффективными.

В современных логистических концепциях, таких как «точно вовремя» и кросс-докинг, синхронизация играет ключевую роль. Эти подходы направлены на оптимизацию временных параметров, сокращение затрат и повышение эффективности цепей поставок. Синхронизация достигается за счет постоянного обмена информацией, совместного принятия решений и адаптации ритмов работы подсистем. Синхронизация рассматривается в двух измерениях: горизонтальном (согласование производства в рамках одного заказа) и вертикальном (координация смежных этапов поставки). Интегрированная логистика и кросс-докинг с использованием синхронизации позволяют минимизировать складирование и ускорить доставку, что делает их важными инструментами в условиях растущей сложности логистических сетей.

Материал и методы

В основе статьи использовались теоретические методы изучения и анализа источников информации о механизмах синхронизации в рамках различных транспортных концепций.

В работе используются методы генеративного искусственного интеллекта для решения задачи синхронизации взаимодействия транспортных средств в транспортно-логистическом процессе. Применяется визуальный метод для предоставления результатов синхронизации в виде диаграмм Ганта.

Теория

После Второй мировой войны японская автомобильная промышленность, в частности компания Toyota, функционировала в довольно сложных условиях. Производственная система Toyota работала в условиях послевоенного дефицита и общей нехватки ресурсов. Из-за низкого потребительского спроса Toyota была вынуждена выпускать небольшие объемы различных моделей на одной сборочной линии, что делало невозможным реализацию конвейерного производства. Чтобы сохранить автомобильную промышленность в противовес методам массового производства, японским производителям автомобилей была придумана концепция «бережливого производства». Со временем принципы бережливого производства распространились за пределы производственных цехов и были внедрены на уровне всей компании, а затем и всей логистической цепочки. Бережливая логистическая цепочка характеризуется прежде всего согласованностью, стабильностью и синхронизацией поставок между всеми участниками [1].

Понятие синхронизация широко используется в научных публикациях в различных сферах [2]. Однако, его восприятие, основанное на языковой интуиции, часто не полностью отражает его сущность и пользу для логистического управления. Упрощенное восприятие рассматривать синхронизацию только как согласование по времени протекания процессов. Более полное понимание связано с тем, что синхронизация — это основа для самоорганизационных процессов в логистических системах. Перспективным направлением развития концепции синхронизации в логистике являются создание умных логистических цепей, автономная логистика, использование интернета вещей (IoT).

Например, в исследовании [3] авторы одними из первых рассмотрели возможности синхронизации логистических внутрипроизводственных процессов в реальном времени с использованием IoT для завода по производству запасных частей для автомобилей. Парадигма синхронизации рассматривается авторами в двух измерениях: горизонтальная синхронизация, которая обеспечивает согласованность серийного производства в рамках одного заказа и вертикальная синхронизация, которая координирует смежные этапы поставки.

Сложность обеспечения синхронизации в логистике заключается в том, что уровень заказов и уровень предложения постоянно изменяются, а каждый элемент в цепи поставок взаимодействует с остальными, что, оказывая влияние на всю цепочку [4]. Поэтому необходимы дополнительные исследования позволяющие изучить взаимодействия на уровне отдельных элементов логистической системы.

В современной логистике исследователи выделяют несколько так называемых логистических концепций, каждая из которых описывает отдельную сторону логистического процесса. Логистическая концепция представляет собой набор практических инструментов, которые помогают оптимизировать логистику компании [5]. В рамках каждой из логистических концепций применяется собственный набор инструментов и подходов для мониторинга и контроля ключевых и дополнительных логистических процессов. Эти инструменты формируют основу для эффективного управления логистикой. В различных концепциях подходы к обеспечению согласованности и синхронизации могут существенно различаться. Некоторые концепции прямо оперируют термином «синхронизация», определяя его как своевременное выполнение логистических операций и возможность их адаптации к установленным нормативам, в других синхронизация рассматривается как результат согласованности в протекании процессов.

В концепции планирования производства синхронизацию определить через время такта. В цепях поставок большого размера традиционные методы логистического админи-

стрирования не обеспечивают необходимого эффекта. Этот параметр зависит от спроса на единицу продукции и помогает согласовать внешний спрос с внутренним производством [6]. На практике широкое распространение получила популярная логистическая концепция Just-in-Time (точно вовремя), которая заключается в непрерывной оптимизации временных параметров логистических операций. Основная идея - доставлять все необходимые компоненты в нужное место и в нужное время, чтобы производственный процесс был непрерывным и без складирования [7].

Свое развитие концепция «точно вовремя» получила в рамках концепции синхронизированного производства. Система синхронизированного производства представляет собой особый метод организации производственного процесса, направленный на минимизацию потерь, увеличение прибыли и достижение высоких производственных показателей. В исследовании [8] подробно описаны практические рекомендации по организации синхронизированного производства. Авторами на основе практического опыта её применения приводятся аргументы в пользу преимущества данной концепции перед традиционным производством. Выделяют этапы внедрения синхронизированного производства, начиная с реализации визуального контроля на предприятии и заканчивая созданием системы «вытягивающего производства». Каждый этап синхронизированного производства сопровождается рекомендациями по его реализации и примерами из практики. По нашему мнению, концепция синхронизированного производства представляет собой философию, характерную для Японии, а описанный опыт сложно использовать в других странах.

Термин «синхронизация» в контексте логистики часто употребляется в сочетании с понятиями «интеграция логистических цепочек», «координация в логистических цепочках» и «взаимодействие в логистических цепочках». Синхронизация взаимодействия компаний представляет собой процесс, в котором две или более независимых организаций совместно осуществляют доставку товаров, руководствуясь единым планом доставки и обеспечивая согласованное выполнение логистических операций. В рамках данного контекста синхронизация определяется как процесс взаимодействия участников логистической деятельности, который характеризуется непрерывным обменом актуальной информацией и необходимостью согласования решений для достижения оптимальных результатов [9].

Концепция интегрированной логистики направлена на оптимизацию логистических процессов посредством согласования действий всех участников логистической цепочки и укрепления взаимного доверия между ними. Однако в условиях современного рынка достижение полной синхронизации действий всех участников логистической цепи затруднительно из-за её масштабы. В связи с этим некоторые эксперты предлагают использовать термин «синхронизация» в качестве альтернативы термину «согласование», рассматривая его как синонимичный или производный от понятий «интеграция», «координация» и «взаимодействие».

Синхронизация в интегрированной логистике достигается через внешнее согласование, обеспечение скоординированного взаимодействия потоков и ориентацию участников на достижение положительных результатов через внешнее согласование потоков [10]. В современном понимании синхронизации в цепях поставок акцент делается не на внешнем управлении, а на обеспечении внутренней согласованности логистической системы и её подсистем. Синхронизация достигается за счёт адаптации и самонастройки ритмов работы подсистем друг к другу, что в свою очередь, обеспечивает оптимальное функционирование всей цепи поставок [11].

Концепция кросс-докинга также ориентирована на обеспечение синхронизации и идея заключается в том, что товары сразу отправляют в пункт назначения, не задерживая их на складе. Это позволяет сократить время доставки, экономить место на складе, уменьшить расходы на аренду и оплату труда сотрудников. Главная цель кросс-докинга - обеспечить чёткую согласованность всех этапов логистической цепочки. Благодаря этому можно точно синхронизировать отгрузку продукции и её доставку, что в конечном итоге приводит к сокращению времени доставки груза [12].

Расчет

Одним из способов применения генеративного искусственного интеллекта (ГИИ) в практических целях является визуализация представленных данных в виде различных диаграмм, а также описание бизнес-процессов и логистических систем. Мы определили несколько областей применения технологий ГИИ для создания визуализации логистических процессов [13]:

Для реализации этих подходов в России доступно несколько вариантов доступа к бесплатным системам ГИИ, которые можно использовать для решения указанных задач:

- YandexGPT - генеративный текстовый ИИ от Яндекса, который умеет приходить к ответу через цепочку рассуждений, понимает длинный контекст и позволяет вызывать функции для получения данных из внешних источников [14].

- GigaChat - нейросетевая модель от Сбербанка, которая запоминает контекст в многошаговых диалогах, связывает новые вопросы с предыдущей информацией и показывает хорошие результаты в русскоязычных диалогах [15].

Диаграмма Ганта популярный инструмент для визуализации временных рамок проектов. Она представляет собой график, на котором работы над проектом разбиты на временные отрезки, это один из наиболее распространённых методов планирования проектов. Диаграмма состоит из полос, расположенных вдоль оси времени. Каждая полоса представляет собой отдельную задачу в рамках проекта. Начало и конец полосы соответствуют моментам начала и завершения задачи, а её длина - продолжительности выполнения. На вертикальной оси диаграммы представлен список всех задач проекта. Также на диаграмме могут быть отмечены общие задачи, процент выполнения отдельных задач, порядок выполнения задач, зависимости между задачами, ключевые моменты (вехи), текущее время и другие элементы. В простых вариантах диаграмм Ганта не учитывается важность, ресурсоемкости работ, а описывает только их последовательность и продолжительность.

Диаграммы Ганта могут использоваться для бизнес-планирования и визуального представления логистических процессов. Например в работе [16] авторы демонстрируют пример их использования для оперативного планирования и управления ходом работ промышленного предприятия. Авторами предложен инструмент, который позволяет обеспечить целостное видение логистических процессов всего цеха с возможностью его оптимизации. Диаграмма Ганта позволяет реализовать модель планирования производства с эвристической поддержкой механизмов управления производством.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим использование диаграммы Ганта для визуального представления задачи синхронизации в транспортно-логистической системе. Постановка задачи: необходимо построить синхронизированные графики движения двух автопоездов в составе автомобиля с прицепом при перевозке пакетированных грузов сквозным методом с назначением одного водителя на автомобиль. Расстояние перевозок составляет 200 километров. Нулевой пробег составляет 10 километров. Техническая скорость при выполнении нулевого пробега 25 км/ч, при движении по маршруту 55 км/ч. Погрузка занимает один час. Необходимо синхронизировать графики движения транспортных средств в месте погрузки, чтобы они не пересекались. Допустимы изменения временами отправления каждого транспортного средства. Для построения использовать диаграмму Ганта.

Для системы ГИИ формулируется запрос: «построй диаграмму Ганта в формате Mermaid для решения задачи <указывается текст из постановки задачи>. Используй на диаграмме разделение по часам».

Ответ системы ГИИ, представлен на рисунке 1, он демонстрирует соответствие условиям задачи и пригодность к практическому использованию. Тем не менее, учитывая наш предыдущий опыт работы с ГИИ, всегда целесообразно провести дополнительный анализ полученных данных и перепроверить расчеты. Подобную проверку можно выполнить и с ис-

пользованием возможностей самого ГИИ. Например, мы сформулировали дополнительный запрос: «приведи формулы, которые были использованы для расчетов и проверь результаты». Полученный результат представлен на рисунке 2.

Конечно! Давайте создадим диаграмму Ганта для данной задачи с использованием синтаксиса Mermaid. Мы будем учитывать время движения, время погрузки и необходимые временные интервалы для синхронизации.



Объяснение:

1. Нулевой пробег (10 км):

- Время движения: $\frac{10 \text{ км}}{25 \text{ км/ч}} = 0.4 \text{ ч} = 24 \text{ мин}$
- Оба автомобиля начинают движение одновременно и проходят нулевой пробег за 24 минуты.

2. Движение по маршруту (200 км):

- Время движения: $\frac{200 \text{ км}}{55 \text{ км/ч}} \approx 3.64 \text{ ч} \approx 3 \text{ ч } 38 \text{ мин}$

3. Погрузка:

- Время погрузки: 1 час.
- Автомобиль 1 завершает движение по маршруту в 03:38 и начинает погрузку в 03:38, которая заканчивается в 04:38.
- Автомобиль 2 начинает движение по маршруту через некоторое время после начала движения первого автомобиля, например, через 2 часа, и завершает движение по маршруту в 05:38, начиная погрузку в 05:38, которая заканчивается в 06:38.

4. Возвращение:

- Время возвращения: $\frac{210 \text{ км}}{55 \text{ км/ч}} \approx 3.82 \text{ ч} \approx 3 \text{ ч } 48 \text{ мин}$
- Время возвращения первого автомобиля: 07:16.
- Время возвращения второго автомобиля: 09:16.

Таким образом, мы можем видеть, что графики движения автомобилей не пересекаются во времени погрузки, что соответствует условию задачи.

Рисунок 1 - Ответ ГИИ на поставленную задачу

Представленный подход обеспечивает возможность решения задачи синхронизации в логистических транспортных системах и основан на использовании технологий генеративного искусственного интеллекта.

В ходе решения задачи системой ГИИ была создана диаграмма Ганта, которая иллюстрирует синхронизацию движения двух автопоездов на одном маршруте. В рамках предложенного решения автомобиль 1 завершает движение по маршруту, после чего следует погрузка, которая занимает определённый период времени. Автомобиль 2 начинает движение по тому же маршруту и также завершает его с последующей погрузкой через заданный период. Время возвращения для обоих транспортных средств составляет примерно 3 часа 48 минут. Таким образом, график их движения синхронизирован, что исключает пересечение транспортных средств во время погрузки.

Диаграмма Ганта демонстрирует синхронизацию графиков движения автомобилей для избежания их пересечений во время погрузки. Временные интервалы возвращения автомобилей позволяют синхронизировать сквозные перевозки грузов с одним водителем для каждого транспортного средства. Представленный результат оптимизирует логистические операции и повышает производительность труда. Для проверки достоверности предложенного подхода могут быть использованы ручные расчёты или дополнительные запросы к генеративному искусственному интеллекту.

Конечной! Вот формулы, которые были использованы для расчетов времени движения и возвращения автомобилей:

1. Время движения по нулевому пробегу:

$$T_{\text{нулевой пробег}} = \frac{\text{длина нулевого пробега}}{\text{скорость нулевого пробега}}$$

Для нулевого пробега (10 км) со скоростью 25 км/ч:

$$T_{\text{нулевой пробег}} = \frac{10 \text{ км}}{25 \text{ км/ч}} = 0,4 \text{ ч} = 24 \text{ мин}$$

2. Время движения по маршруту:

$$T_{\text{маршрут}} = \frac{\text{длина маршрута}}{\text{скорость движения по маршруту}}$$

Для маршрута (200 км) со скоростью 55 км/ч:

$$T_{\text{маршрут}} = \frac{200 \text{ км}}{55 \text{ км/ч}} \approx 3,64 \text{ ч} \approx 3 \text{ ч } 38 \text{ мин}$$

3. Время возвращения:

$$T_{\text{возвращение}} = \frac{\text{общая длина пути}}{\text{скорость движения по маршруту}}$$

Общая длина пути для возвращения (210 км) со скоростью 55 км/ч:

$$T_{\text{возвращение}} = \frac{210 \text{ км}}{55 \text{ км/ч}} \approx 3,82 \text{ ч} \approx 3 \text{ ч } 48 \text{ мин}$$

4. Время погрузки:

$$T_{\text{погрузка}} = 1 \text{ час}$$

Используя эти формулы, мы получили следующие временные интервалы для каждой фазы движения:

- Нулевой пробег: 24 минуты
- Движение по маршруту: 3 часа 38 минут
- Погрузка: 1 час
- Возвращения: 3 часа 48 минут

Эти расчеты позволили нам построить диаграмму Ганта, где временные интервалы для каждого автомобиля были синхронизированы так, чтобы они не пересекались во время погрузки.

📄 📊 📅 📌 📁

Рисунок 2 - Результат проверки и формулы для расчета по условиям задачи

Выводы

В классическом понимании логистического процесса ключевую роль играет внешняя координация, которая осуществляется в рамках логистического менеджмента. Современные логистические системы становятся всё более сложными, и даже самые совершенные информационные технологии не способны обеспечить полную внешнюю координацию для всех процессов. Поэтому необходимо использовать эффекты самоорганизации, которые могут быть достигнуты через синхронизацию логистических процессов и потоков. Использование возможностей синхронизации станет важным шагом на пути к созданию автономных логистических систем будущего. Особенности синхронизации необходимо учитывать в рамках различных логистических концепций.

В эмпирической части исследования авторы показали, что ГИИ может быть эффективно использован для визуализации синхронных процессов в логистических бизнес-процессах. Применение ГИИ позволяет генерировать диаграммы Ганта в формате Mermaid с учетом выполнения условий по синхронизации транспортных потоков. Авторами приведен пример автоматизированной генерации диаграммы Ганта при решении задач по синхронизации погрузки транспортных средств. Результаты свидетельствуют, что генеративный искусственный интеллект уже сейчас может быть эффективным помощником для автоматизированного построения визуализаций при решении логистических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klug F. Synchronization and stability in automotive transportation networks // Naval Research Logistics. 2023. Vol. 70. №2. P. 165–183.
2. Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление = Фундаментальное нелинейное явление / Пер. с англ. А. С. Пиковского, М. Г. Розенблюма. Москва: Техносфера, 2003. 493 с.

3. Lin P. et al. Synchronisation for smart factory - towards IoT-enabled mechanisms // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2018. Vol. 31. №7. P. 624-635.
4. Chankov S.M., Becker T., Windt K. Towards Definition of Synchronization in Logistics Systems // Procedia CIRP. 2014. Vol. 17. P. 594-599.
5. Arhipov A.E., Lyashenko S.V. Logistics concept: content, trends, efficiency // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies. 2022. Vol. 2022. №1. P. 98-104.
6. Морозов Э.В., Трегубов В.Н., Разделкин В.М. Сравнение методов логистического администрирования на основе координации и синхронизации // Инновационная деятельность. 2015. №1(32). С. 126-132. EDN TZWBLB.
7. Chankov S., Hütt M.-T., Bendul J. Synchronization in manufacturing systems: quantification and relation to logistics performance // International Journal of Production Research. 2016. Vol. 54. №20. P. 6033-6051.
8. Такеда Х. Синхронизированное производство. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2008. 285 р.
9. Simatupang T.M., Sridharan R. Design for supply chain collaboration // Business Process Management Journal. Emerald Group Publishing (United Kingdom). 2008. Vol. 14. №3. P. 401-418.
10. Лукинский В.С., Панова Ю.Н., Стримовская А.В. Интегрированное управление цепями поставок: теории, модели и методы // Логистика и управление цепями поставок. 2017. №3(80). С. 40-56. EDN ZBQOTT.
11. Трегубов В.Н. Логистика и синхронизация в системе пассажирского транспорта. Развитие концепции синхронизации в логистических системах // Российское предпринимательство. 2010. №6-2. С. 142-146. EDN MTBILN.
12. Buijs P., Vis I.F.A., Carlo H.J. Synchronization in cross-docking networks: A research classification and framework // European Journal of Operational Research. 2014. Vol. 239. №3. P. 593-608.
13. Трегубов В. Перспективные направления исследований использования генеративного искусственного интеллекта в маркетинге // International Journal of Open Information Technologies. 2024. Т. 12. №5. С. 23-32. EDN RNREUK.
14. Yandex. YandexGPT 4 [Электронный ресурс] // YandexGPT 4. 2025. URL: <https://ya.ru/ai/gpt-4>.
15. СберБанк. GigaChat - русскоязычная нейросеть от Сбера [Электронный ресурс] // giga.chat. 2025. URL: <https://giga.chat/>.
16. Masahiro Shibuya, Xuebin Chen. Production Planning and Management Using Gantt Charts // JMEA. 2021. Vol. 11. №3.

Трегубов Владимир Николаевич

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

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

Д.э.н., доцент, профессор кафедры «Производственный менеджмент»

E-mail: tregubovvn@yandex.ru

V.N. TREGUBOV

USE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR VISUALISATION OF SYNCHRONISATION IN LOGISTIC PROCESSES

Abstract. *The paper considers the main aspects of using synchronisation mechanisms in logistics management. The paper analyses both the traditional perception of synchronisation in the form of simple coordination of logistic processes in time and its understanding in the framework of the theory of self-organisation. The authors analyse the mechanisms of synchronisation within the framework of different logistic concepts. The authors discuss the difficulties of synchronisation in logistics due to the variability of order and offer levels, as well as the interaction of elements in the supply chain. The empirical part presents an approach to solving the problem of synchronisation in the transport and logistics system using the capabilities of generative artificial intelligence and its visualisation using the capabilities of Gantt charts.*

Keywords: *synchronisation, logistics concept, just-in-time, generative artificial intelligence, cross-docking, synchronised production, Gantt charts*

BIBLIOGRAPHY

1. Klug F. Synchronization and stability in automotive transportation networks // *Naval Research Logistics*. 2023. Vol. 70. №2. P. 165-183.
2. Pikovskiy A., Rozenblyum M., Kurts YU. Sinkhronizatsiya. Fundamental'noe nelineynoe yavlenie = Fundamental'noe nelineynoe yavlenie / Per. s angl. A. S. Pikovskogo, M. G. Rozenblyuma. Moskva: Tekhnosfera, 2003. 493 s.
3. Lin P. et al. Synchronisation for smart factory - towards IoT-enabled mechanisms // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2018. Vol. 31. №7. P. 624-635.
4. Chankov S.M., Becker T., Windt K. Towards Definition of Synchronization in Logistics Systems // *Procedia CIRP*. 2014. Vol. 17. P. 594-599.
5. Arhipov A.E., Lyashenko S.V. Logistics concept: content, trends, efficiency // *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies*. 2022. Vol. 2022. №1. P. 98-104.
6. Morozov E.V., Tregubov V.N., Razdelkin V.M. Sravnenie metodov logisticheskogo administrirovaniya na osnove koordinatsii i sinkhronizatsii // *Innovatsionnaya deyatel'nost'*. 2015. №1(32). S. 126-132. EDN TZWBLLB.
7. Chankov S., H?tt M.-T., Bendul J. Synchronization in manufacturing systems: quantification and relation to logistics performance // *International Journal of Production Research*. 2016. Vol. 54. №20. P. 6033-6051.
8. Takeda H. Sinkhronizirovannoe proizvodstvo. M.: Institut kompleksnykh strategicheskikh issledovaniy, 2008. 285 p.
9. Simatupang T.M., Sridharan R. Design for supply chain collaboration // *Business Process Management Journal*. Emerald Group Publishing (United Kingdom). 2008. Vol. 14. №3. P. 401-418.
10. Lukinskiy V.S., Panova YU.N., Strimovskaya A.V. Integrirovannoe upravlenie tsepyami postavok: teorii, modeli i metody // *Logistika i upravlenie tsepyami postavok*. 2017. №3(80). S. 40-56. EDN ZBQOTT.
11. Tregubov V.N. Logistika i sinkhronizatsiya v sisteme passazhirskogo transporta. Razvitie kontseptsii sinkhronizatsii v logisticheskikh sistemakh // *Rossiyskoe predprinimatel'stvo*. 2010. №6-2. S. 142-146. EDN MTBILN.
12. Buijs P., Vis I.F.A., Carlo H.J. Synchronization in cross-docking networks: A research classification and framework // *European Journal of Operational Research*. 2014. Vol. 239. №3. P. 593-608.
13. Tregubov V. Perspektivnye napravleniya issledovaniy ispol'zovaniya generativnogo iskusstvennogo intellekta v marketinge // *International Journal of Open Information Technologies*. 2024. T. 12. №5. S. 23-32. EDN RNREUK.
14. Yandex. YandexGPT 4 [Elektronnyy resurs] // YandexGPT 4. 2025. URL: <https://ya.ru/ai/gpt-4>.
15. SberBank. GigaChat - russkoyazychnaya neyroset` ot Sbera [Elektronnyy resurs] // giga.chat. 2025. URL: <https://giga.chat/>.
16. Masahiro Shibuya, Xuebin Chen. Production Planning and Management Using Gantt Charts // *JMEA*. 2021. Vol. 11. №3.

Vladimir Nikolayevich Tregubov

Yury Gagarin State Technical University of Saratov

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

Doctor of Economic Sciences

E-mail: tregubovvn@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.078.1

doi:10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-137-144

А.В. ТЕРЕНТЬЕВ, Р.О. СУДОРГИН

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА, ОСНОВАННАЯ НА ДЕКОМПОЗИЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

Аннотация. В статье представлена оригинальная модель определения весовых коэффициентов при оценке эффективности транспортно-логистического производства, основанная на декомпозиции информационного пространства в условиях неопределенности. Инструментом разработанного аналитического подхода является метод решения многокритериальных задач, основанный на модели последовательной оптимизации, предполагающей декомпозицию информационного пространства на ряд непересекающихся областей, со своими наборами показателей критериев оптимальности.

Ключевые слова: транспортно-логистическое производство, энтропийный подход, аналитические методы, модели оптимизации, весовые коэффициенты, сложная система

Введение

Лингвистическое описание и формальная постановка задачи моделирования оптимальной структуры весовых коэффициентов в системе оценивания эффективности транспортно-логистического производства основывается на итогах анализа существующей проблемы и возможных методов его решения [1-9]

Основным тезисом лингвистического описания модели, позволяющей синтезировать оптимальную структуру весовых коэффициентов в системах оценивания эффективности транспортно-логистического производства (ТЛП), является безусловное предпочтение отраслевых интересов системы транспортно-логистического производства над локальными интересами ТЛП отдельных элементов или подсистем в неё входящих. Учитывая сложность и разнородность исследуемой системы, определяемую количественным составом элементов и противоречивым качественным их содержанием, сформирована научная гипотеза, положенная в основу разрабатываемой методологии системно оценки эффективности транспортно-логистических предприятий в следящем виде. Решение научной проблемы объективной оценки эффективности транспортно-логистических предприятий возможно с применением энтропийного подхода, суть которого сводится к разработке антиэнтропийных инструментов. Назначение антиэнтропийных инструментов – снижение энтропии (меры неопределенности) в системе оценивания. Основным инструментом энтропийного подхода является теория принятия решений, основанная на моделях теории игр. Учитывая сложность информационного пространства открытой системы, то есть подверженной значительному влиянию внешнего факторного пространства, для решения задач исследования следует использовать теорию игр с природой (факторов). Особенностью теории игр с природой факторов, обуславливающей её применение, является возможность разработки моделей принятия решений в условиях неопределенности то есть, когда значения показателей эффективности исследуемых процессов функционирования транспортно-логистических компаний не подчиняется вероятностным законам распределения случайных величин.

Материал и методы

Детализация инструментов методологии системной оценки эффективности транспортно-логистических предприятий в рамках теории игр с природой факторов заключается в разработке методов моделирования, прогнозирующих состояние эффективности в системе СРО как управляемого фактора. В этом случае подразумевается, что разрабатываемая модель

дает не только оценку эффективности предшествующего и текущего состояния, подразумевает операции по управлению функционалом исследуемой системы и прогнозированием её эффективного развития. Именно, поэтому методы и оценки транспортно-логистического производства необходимо рассматривать в контексте построения моделей прогноза

Решением поставленной задачи является развитие методов решения многокритериальных задач, способных находить адекватные решения в системах рейтингового оценивания в изменяющихся условиях внешней среды и создание аналитических моделей последовательной оптимизации, предполагающих декомпозицию информационного пространства на ряд непересекающихся областей, каждому из которых соответствует собственный набор показателей критериев оптимальности. Декомпозиция информационного пространства может производиться способом агрегатирования областей эффективных решений по принципу распределения предпочтений [10-13]. Способ распределения предпочтений должен исключать возможность субъективного назначения структуры предпочтений.

Теория

Выявим комплекс условий и расхождений с существующими подходами, которые являются определяющими при разработке модели многокритериальной оптимизации в системах оценивания эффективности (СОЭ) ТЛП.

Во-первых, необходимо определить являются ли современные системы оценивания оптимизационными моделями. С точки зрения применяемых состава аналитических инструментов для определения эффективности исследуемых объектов современные СОЭ аналогичны известным методам решения многокритериальных задач, и те другие используют либо модели основанные на различных способах выявления весовых коэффициентов (на основании априорной информации, на определении вероятностных характеристик исследуемых процессов и т.д.), либо на трансформации ряда критериев (за исключением одного) в разряд ограничений, тем самым упрощая задачу и фактически переводя её из многокритериальной в однокритериальную.

В первом случае наиболее распространенной современной практикой является назначение весовых коэффициентов на основании эмпирических данных или применением различных методов экспертных оценок. Во втором случае производится формальная уступка в объективности получаемых решений за несоответствия инструментов моделирования (упрощения условий постановки решаемой задачи) многомерности исследуемых процессов. Поэтому формально применяемые в настоящее время модели СРО являются не оптимизационными в буквальном смысле (поиска экстремумов критериальных функций в векторно-ограниченном пространстве), а упорядочивающими исследуемую структуры в соответствии с мнением лица принимающего решения (ЛПР). Учитывая сказанное необходима, трансформация существующих подходов при создании объективных моделей СОЭ в обоснованно оптимизационные, которые позволяют получить не только эффективные решения и решения, определяющие вектор эффективного развития исследуемой совокупности объектов.

Второй подход является в данном случае исключается, так как в системах с противоречивым целеполаганием невозможно объективно ограничиться одним основным критерием без ущерба для достоверности получаемого решения.

Первый подход, основанный на назначении весовых коэффициентов, должен быть трансформирован в модель определения весовых коэффициентов, соответствующих установленной и обоснованной информационной ситуации в которых функционируют исследуемые объекты, как ситуации с неопределенными вероятностными характеристиками. При этом нельзя исключать из рассмотрения хорошо апробированные и доказавшие свою эффективность модели, основанные на системах предпочтения, даже исходя из тех соображений, что случай отсутствия предпочтений формально является частным случаем в рамках данного направления решений многокритериальных задач. Более того необходимо придать системе предпочтений объективный характер и формально разделить понятия безусловного предпо-

чтения и условного предпочтения.

Случай безусловного предпочтения в нашем исследовании представим в виде соотношения переменных значений весовых коэффициентов для каждого из установленных условием задачи критериев.

$$\begin{cases} \alpha_{11} > \dots > \alpha_{1j} \dots > \alpha_{1n} \\ \dots \\ \alpha_{i1} > \dots > \alpha_{ij} \dots > \alpha_{in} \\ \dots \\ \alpha_{m1} > \dots > \alpha_{mj} \dots > \alpha_{mn} \end{cases} \quad (1)$$

где α_{ij} – переменное искомое значение весового коэффициента, соответствующее i – му исследуемому объекту по j – му критерию эффективности, при $i = 1, \dots, m$, а $j = 1, \dots, n$.

Применяя методы многокритериальных задач (оценки Фишберна и т.д.), проанализированные во второй главе, получаем результирующую структуру весовых коэффициентов, соответствующую следующей форме:

$$\begin{cases} \alpha_{11} = \dots = \alpha_{i1} \dots = \alpha_{m1} \\ \dots \\ \alpha_{1j} = \dots = \alpha_{ij} \dots = \alpha_{in} \\ \dots \\ \alpha_{1n} = \dots = \alpha_{mj} \dots = \alpha_{mn} \end{cases} \quad (2)$$

В этом случае весовые коэффициенты α_{ij} детерминируются, а решение преобразуется в скаляр $S_i^x, i = \{1, 2, \dots, m\}$. Таким образом формирование обобщенного функционала (комплексного, комбинированного или глобального) сегодня не является формальной процедурой, а его вид полностью зависит от выбранной схемы компромиссов, что сводит векторную задачу к скалярной и делает её достаточно неопределенной по характеру получаемого результата. Тогда решение задачи сводится к получению некой структуры весовых коэффициентов с главным признаком, которому они подчиняются и который их объединяет. Как уже отмечалось, в этом случае полученные значения весовых коэффициентов для отдельных частных критериев могут не соответствовать системно оптимальному решению.

Результатом является искусственно установленный порядок предпочтения критериев, определённый едиными правилами расположения показателей для каждого критериального ряда или условный критерий предпочтения. Данная конструкция построения модели решения является достаточно жесткой и приводит к условно эффективному решению, но не носит характер безусловно эффективного решения, то есть преобразует исследуемую систему в искусственную.

В реальной системе каждой ситуации всегда соответствует некоторая комбинация возможных реализаций, имеющихся комбинаций внешних факторов в качестве некоторого (варианта) решения.

При принятии решения управляемые параметры должны быть определены так, исследуемая система подошла как можно ближе к поставленной цели, причем влияние независимых параметров также должно быть учтено. В этом случае в качестве независимых переменных могут выступать весовые коэффициенты, которые должны быть упорядочены без ущерба по вычислительному характеру и произвольным к окружающей внешней среде способом. Здесь необходимо провести разделительную линию между такими известными понятиями, характеризующими информационное состояние исследуемой системы как: стохастическая недостаточность информации и стохастическая неопределенность [14-16].

В условиях недостаточности информации входные параметры должны быть описаны недетерминированным способом, а стохастические параметры (соответствующие математическому понятию случайной величины) определяющие результат решения должны располагаться в определенной области согласно некоторому распределению вероятностей. Состояние недостаточности информации состоит в том, что известно, какое в точности значение примет в данной ситуации сам параметр при полностью известной функции её распределения. В этом заключается принципиальное отличие состояния недостаточности информации от информационного состояния неопределенности. В информационном состоянии неопреде-

ленности неизвестна функция распределения случайных величин при достаточной информации об исследуемом параметре, то есть фактически вероятность распределения случайных величин для отдельного параметра может изменяться в пределах от нуля до единицы. Одним из способов снятия неопределенности в таких случаях является способ, основанный на предположении об области изменения стохастических параметров или о соответствующем расположении вероятностей в этой области. Такие предположения проверяются с помощью теоретических гипотез, посредством которых можно либо в зависимости от установленной вероятностной ошибки выбрать то или иное предположение о параметре, либо о области распределения его вероятностей. В нашем случае (в условиях неопределенности), когда на тип обсуждаемого распределения случайных величин вообще нет никаких ограничений, остается единственный путь делать предположения о границах области изменения параметра (районами), решение задачи оптимизации требует определенного некоего нового обобщенного функционала. В этом случае справедливо утверждение, которое является условием решения оптимизационной задачи в условиях неопределенности:

$$\begin{cases} \alpha_{11} \neq \dots \neq \alpha_{i1} \dots \neq \alpha_{m1} \\ \dots \\ \alpha_{1j} \neq \dots \neq \alpha_{ij} \dots \neq \alpha_{in} \\ \dots \\ \alpha_{1n} \neq \dots \neq \alpha_{mj} \dots \neq \alpha_{mn} \end{cases} \quad (3)$$

Физический смысл данного условия заключается в следующем: в условиях неопределенности неизбежно существуют различные системы распределения весовых коэффициентов, удовлетворяющих качеству декларируемому СРО и определяющих различные значения эффективности. Тогда в зависимости от принадлежности оптимизируемой системы к той или иной области информационного пространства, определяемого составом факторов возмущения внешней среды, должно формироваться соответствующие оптимальная структура СОЭ. При этом важно обозначать еще одно существенное условие или допущение по характеру исследуемого процесса согласно теории исследования операций, чтобы сделать задачу разрешимой.

Результаты

Разработанный энтропийный подход к решению многокритериальных задач в условиях неопределенности позволяет сформулировать аналитическую модель получения переменных значений весовых коэффициентов не только в точках, являющихся узлами пресечения поверхностей (плоскостей) эффективных решений, но и на множестве точек, являющихся результатом пресечения областей декомпозиции информационного пространства по принципу условного предпочтения.

Для подтверждения данного тезиса определим модель декомпозиции информационного пространства по принципу условного предпочтения

$$\begin{cases} P_i(a_{ij}) = \sum_{j=1}^n f_{ij}x_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n p_j = 1, \quad 0 \leq p_j \leq 1 \\ p_j \geq p_{j+1}, j = \overline{1, n-1} \end{cases} \quad (4)$$

Поиск оптимальных в соответствии с условием задачи (4) значений a_{ij} для каждого из варианта $f(x)_i$ выполняется с помощью аналитической модели векторной оптимизации

$$a_{ij} = \begin{cases} \frac{[1 - \frac{(n-1)(n-k)}{k(n+1)}]}{2}, \text{ при } j \leq k, \\ \frac{(n-1)}{k(n+1)}, \text{ при } j > k, \\ k = j, \text{ при } a_{kj} = \max_j a_{ij} \end{cases} \quad (5)$$

где k – значения переменного индекса $j = \overline{1, n}$ определяемого из условия $a_{kj} = \max_j a_{ij}$.

Обсуждение

Апробируем модель (5) на числовом примере

$$X = \begin{pmatrix} 7 & 5 & 6 \\ 4 & 8 & 3 \\ 9 & 7 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 5 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

и покажем графоаналитическое решение на рисунке 1. Произведем исследование информационного пространства модели синтеза оптимальной структуры СОЭ на случайной выборке текущих значений показателей в виде матрицы размерностью $i = 1 \dots 5, j = 1 \dots 3$

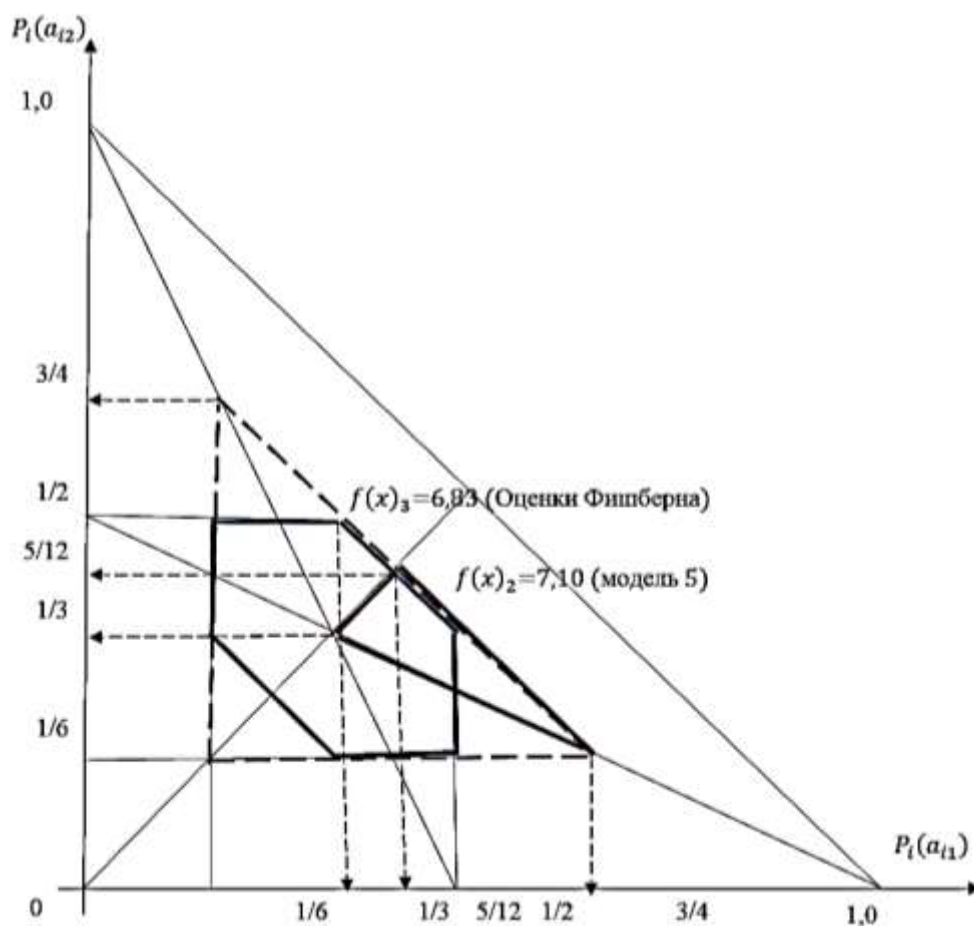


Рисунок 1 - Графоаналитическое решение системы (4) применением оценок Фишберна и модели аналитической модели (5)

В результате было получено решение $f(x)_2 = 7,10$ (модель 5), которое по своему значению эффективности превышает значения, полученные с помощью ранее используемых методов-аналогов, в частности $(x)_3 = 6,83$ (Оценки Фишберна). Полное распределение коэффициентов весовости в случае применения модели 5 приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Распределение коэффициентов весовости в случае применения модели 5

	$f(x)_1$	$f(x)_2$	$f(x)_3$
x_1	2/3	1/6	1/6
x_2	5/12	5/12	1/6
x_3	2/3	1/6	1/6
x_4	1/3	1/3	1/3
x_5	2/3	1/6	1/6

В таблице 2 сравним результаты применения всех рассмотренных выше моделей получаемых весовых коэффициентов, определяющих системную эффективность

Сравнение применения всех рассмотренных выше моделей распределения весовых коэффициентов, определяющих системную эффективность СРО, свидетельствует в пользу модели 5 ($S_{\Sigma}^X = 24,9$), позволяющей исследовать информационное пространство возможных решений с помощью переменных значений коэффициентов.

Таблица 2 – Сравнение различных моделей распределения весовых коэффициентов, определяющих системную эффективность

	Критерий Лапласа	Оценки Фишберна	Методы рай- онирования	Модель (5)
x_1	5,94	5,84	6,12	5,58
x_2	4,95	4,82	5,83	7,1
x_3	5,94	4,84	6,83	6,75
x_4	1,98	2,33	2,81	2,0
x_5	2,64	2,01	2,83	3,5
S_{Σ}^X	21,45	19,84	24,4	24,93

Выводы

Разработанный подход к решению многокритериальных задач в условиях неопределенности позволил сформулировать аналитическую модель получения переменных значений весовых коэффициентов не только в точках, являющимися узлами пресечения поверхностей (плоскостей) эффективных решений, но и на множестве точек, являющихся результатом пресечения областей декомпозиции информационного пространства по принципу условного предпочтения. Произведенный анализ разработанной аналитической модели определения СОЭ в сравнении с методами-аналогами решения многокритериальных задач, позволяет сделать следующие выводы:

- применение разработанной модели позволяет найти в условиях неопределенности различные системы распределения весовых коэффициентов, удовлетворяющих качеству, де-кларированному СОЭ и определяющих более высокие значения системной эффективности.
- еще одним положительным эффектом применения модели, разработанной на основе энтропийного подхода, является возможность определения случаев распределения коэф-фициентов весомости, соответствующих наиболее высоким значением эффективности для отдельных исследуемых объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Finance I. ВВП России по годам: 1991-2024 [Электронный ресурс] / URL: <http://global-finances.ru/vvp-rossii-po-godam/>.
2. Прогноз экономики России за период 2018 по 2024 г. [Электронный ресурс] / URL: <https://www.kubsu.ru/sites/default/files/users/21431/portfolio/prezentaciya.pdf>.
3. Лазич Ю.В., Попова И.Н. Тенденции развития отрасли автомобильных грузоперевозок в России // Трансформация социально-экономической системы. BENEFICUM. 2020. №4(37). С 19-27.
4. Мишарин А.С., Евсеев О.В. Актуализация Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 год // Транспорт Российской Федерации. №2(45). 2013. С. 4-13.
5. Гавриленко Н.Г., Бородулина С.А. Состав и структура автотранспортной системы Российской Федерации // Наука о человеке. Гуманитарные исследования. Раздел 3. Экономические науки №1(39). 2020. С 217-225.
6. Носков А.А., Терентьев А.В. Генезис системы цифровой трансформации контейнерных грузовых автомобильных перевозок // Вестник гражданских инженеров. 2023. №2(97). С. 116-120.
7. Терентьев А.В., Арифуллин И.В., Носков А.А. Синтез оптимальной программы управления качеством принимаемых решений в интеллектуальных системах организации автомобильных перевозок // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2023. №4(75). С. 107-216
8. Эксперт. Аналитический центр. Рейтинг крупнейших транспортно-логистических компаний России [Электронный ресурс]. URL: <https://expert-ural.com/analytics/ratings/rejting-krupneyshih-transportno-logisticheskikh-kom.htm>.
9. Индекс производственной активности PMI России [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.investing.com/economic-calendar/russian-s-p-global-manufacturing-pmi-1630>.

10. Терентьев А.В., Ефименко Д.Б., Карелина М.Ю. Методы районирования, как методы оптимизации автотранспортных процессов // Вестник гражданских инженеров. 2017. №6(65). С. 291-294.
11. Terentyev A., Evtukov S., Karelina M. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle // Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 36. P. 149-156.
12. Moiseev V.V., Terentiev A.V., Stroeve V.V., Karelina M.Yu. Enhancement of economic efficiency of transport performance using multi-criteria estimation // Advances in Economics // Business and Management Research. 2018. Vol. 61. P. 167-171.
13. Terentiev A.V., Evtukov S.S., Karelina E.A. Development of Zoning Method for Solving Economic Problems of Optimal Resource Allocation to Objects of Various Importance in Context of Incomplete Information // Advances in Economics, Business and Management Research. Vol. 128. International Scientific Conference «Far East Con» (ISCFEC 2020). P. 765-772.
14. Karlis A.D., Kottas T.L., Boutalis Y.S. A novel maximum power point tracking method for PV systems using fuzzy cognitive networks (FCN) // Electric Power Systems Research. 2007. №77. P. 315-327.
15. Martynov V.V., Sakál P., Skuratov A., Filosofova E.I., Zaytseva A.A., Zakieva E.Sh. Chapter 11: CSRP-System design technology of training information support of competent professionals // Handbook of research on engineering education in a global context. IGI Global. 2019. P. 115-125.
16. Zhang J.Y., Liu Z.-Q., Zhou S. Quotient FCMs – a decomposition theory for fuzzy cognitive maps // IEEE Transactions on fuzzy systems. 2006. Vol. 11. №5. P. 593-604.

Терентьев Алексей Вячеславович,

Государственный университет управления

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

Д.т.н., главный научный сотрудник управления по координации научных исследований

E-mail:aleksej.terentev.67@bk.ru

Судоргин Роман Олегович,

Государственный университет управления

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

К.э.н., младший научный сотрудник управления по координации научных исследований

E-mail:Nickel-j@inbox.ru

A.V. TERYTYEV, R.O. SUDORGIN

MODEL FOR DETERMINING WEIGHTING COEFFICIENTS IN ASSESSING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT LOGISTICS PRODUCTION BASED ON THE DECOMPOSITION OF INFORMATION SPACE

Abstract. The article presents an original model for determining weighting coefficients when assessing the efficiency of transport logistics production, based on the decomposition of information space under uncertainty. The tool of the developed analytical approach is a method for solving multi-criteria problems based on a sequential optimization model, which involves decomposing the information space into a number of non-intersecting areas, with their own sets of indicators of optimality criteria.

Keywords: transport and logistics production, entropy approach, analytical methods, optimization models, weighting coefficients, complex system

BIBLIOGRAPHY

1. Finance I. VVP Rossii po godam: 1991-2024 [Elektronnyy resurs] / URL: <http://global-finances.ru/vvp-rossii-po-godam/>.
2. Prognoz ekonomiki Rossii za period 2018 po 2024 g. [Elektronnyy resurs] / URL: <https://www.kubsu.ru/sites/default/files/users/21431/portfolio/prezentaciya.pdf>.
3. Lazich YU.V., Popova I.N. Tendentsii razvitiya otrasli avtomobil'nykh gruzoperevozok v Rossii // Transformatsiya sotsial'no-ekonomicheskoy sistemy. BENEFICUM. 2020. №4(37). S. 19-27.
4. Misharin A.S., Evseev O.V. Aktualizatsiya Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 god // Transport Rossiyskoy Federatsii. №2(45). 2013. S. 4-13.
5. Gavrilenko N.G., Borodulina S.A. Sostav i struktura avtotransportnoy sistemy Rossiyskoy Federatsii // Nauka o cheloveke. Gumanitarnye issledovaniya. Razdel 3. Ekonomicheskie nauki №1(39). 2020. S. 217-225.

6. Noskov A.A., Terent'ev A.V. Genesis sistemy tsifrovoy transformatsii konteynernykh gruzovykh avtomobil'nykh perevozok // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2023. №2(97). S. 116-120.
7. Terent'ev A.V., Arifullin I.V., Noskov A.A. Sintez optimal'noy programmy upravleniya kachestvom prinimaemykh resheniy v intellektual'nykh sistemakh organizatsii avtomobil'nykh perevozok // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2023. №4(75). S. 107-216
8. Ekspert. Analiticheskiy tsentr. Reyting krupneyshikh transportno-logisticheskikh kompaniy Rossii [Elektronnyy resurs]. URL: <https://expert-ural.com/analytics/ratings/rejting-krupneyshih-transportno-logisticheskikh-kom.htm>.
9. Indeks proizvodstvennoy aktivnosti PMI Rossii [Elektronnyy resurs]. URL: <https://ru.investing.com/economic-calendar/russian-s-p-global-manufacturing-pmi-1630>.
10. Terent'ev A.V., Efimenko D.B., Karelina M.YU. Metody rayonirovaniya, kak metody optimizatsii avto-transportnykh protsessov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2017. №6(65). S. 291-294.
11. Terentyev A., Evtukov S., Karelina M. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle // Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 36. R. 149-156.
12. Moiseev V.V., Terentiev A.V., Stroeve V.V., Karelina M.Yu. Enhancement of economic efficiency of transport performance using multi-criteria estimation // Advances in Economics // Business and Management Research. 2018. Vol. 61. P. 167-171.
13. Terentiev A.V., Yevtukov S.S., Karelina E.A. Development of Zoning Method for Solving Economic Problems of Optimal Resource Allocation to Objects of Various Importance in Context of Incomplete Information // Advances in Economics, Business and Management Research. Vol. 128. International Scientific Conference «Far East Con» (ISCFEC 2020). R. 765-772.
14. Karlis A.D., Kottas T.L., Boutalis Y.S. A novel maximum power point tracking method for PV systems using fuzzy cognitive networks (FCN) // Electric Power Systems Research. 2007. №77. P. 315-327.
15. Martynov V.V., Sak P., Skuratov A., Filosofova E.I., Zaytseva A.A., Zakieva E.Sh. Chapter 11: CSRP-System design technology of training information support of competent professionals // Handbook of research on engineering education in a global context. IGI Global. 2019. P. 115-125.
16. Zhang J.Y., Liu Z.-Q., Zhou S. Quotient FCMs a decomposition theory for fuzzy cognitive maps // IEEE Transactions on fuzzy systems. 2006. Vol. 11. №5. P. 593-604.

Terentyev Alexey Vyacheslavovich

State University of Management

Adress: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky Prospekt, 99

Doctor of Technical Sciences

E-mail: aleksej.terentev.67@bk.ru

Sudorgin Roman Olegovich,

State University of Management

Adress: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky Prospekt, 99

Candidate of Economic Sciences

E-mail: Nickel-j@inbox.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с требованиями
к оформлению научных статей.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70 %), не опубликованным ранее в других печатных изданиях.
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

Введение

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

Материал и методы

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылаетесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

Теория / расчет

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

Результаты

Результаты должны быть четкими и краткими.

Обсуждение

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

Выводы

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - применять произвольные словообразования;
 - применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и сверху - 2 см.

Обязательные элементы:

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

- **аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

- **ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

- **список литературы** должен содержать 15-20 источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строки, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:
 Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)
 Учреждение или организация
 Адрес
 Ученая степень, ученое звание, должность
 Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Пример оформления формулы в тексте

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 (1 + \frac{1}{2\alpha}) / d, \quad (1)$$

где $\alpha = 1 + 2a/b$ - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$ - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате *.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

Рисунок 1 - Текст подписи

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

Таблицы должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
Тел.: (4862) 75-13-18
www.oreluniver.ru.
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77
Тел.+7 905 856 6556
www.oreluniver.ru.
E-mail: srmostu@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 25.06.2025 г.
Дата выхода в свет 17.07.2025 г.
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,2
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 118

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95