

ISSN 2073-7432

**МИР ТРАНСПОРТА  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**№ 3-3 (82) 2023**

Научно-технический

журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 3-3(82) 2023

# Мир транспорта и технологических машин

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

Главный редактор:

Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:

Васильева В.В. канд. техн. наук, доц.

Родимцев С.А. д-р техн. наук, доц.

Редколлегия:

Агеев Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Бажинов А.В. д-р техн. наук, проф. (Украина)

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)

Жаковская Л. д-р наук, проф. (Польша)

Жанказиев С.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Зырянов В.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Мартюченко И.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Митусов А.А. д-р техн. наук, проф. (Казахстан)

Нордин В.В. канд. техн. наук, доц. (Россия)

Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва)

Пржибыл П. д-р техн. наук, проф. (Чехия)

Пушкарёв А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия)

Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия)

Сиваченко Л.А. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Юнгмейстер Д.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Шарата А. д-р наук, проф. (Польша)

Ответственный за выпуск: Акмочкина И.В.

Адрес редколлегии:

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

ул. Московская, 77

Тел. +7 905 856 6556

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

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

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

Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.

Подписной индекс: 16376

по объединенному каталогу «Пресса России»

на сайтах [www.ppressa-ru.ru](http://www.ppressa-ru.ru) и [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2023

## Содержание

Материалы IX международной научно-практической конференции  
«Информационные технологии и инновации на транспорте»

### Эксплуатация, ремонт, восстановление

- С.А. Родимцев, Е.Н. Панин Влияние режимных параметров работы двигателя на показатель его эффективного КПД..... 3
- Д.Л. Козырев, В.И. Чернышев, А.В. Горин, И.В. Родичева Критерии оптимальности процесс поиска оптимальных параметров при демпфировании транспортных средств..... 10
- О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов, Р.В. Нуждин Оценка ресурса элементов тормозной системы..... 16
- А.И. Гориков, Е.Н. Грибанов, О.Ю. Конопелько, Н.А. Кузнецова Природа и морфология защитных покрытий на титане, полученных электрохимическим методом..... 23
- Ю.В. Гармаш, И.И. Пономарева, В.И. Сарбаев Структура управляющей системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания..... 31

### Технологические машины

- Н.С. Захаров, Н.О. Сапоженков, И.Ф. Шакиров Организация топливного обеспечения специальных автомобилей при обслуживании аэропортов..... 38

### Безопасность движения и автомобильные перевозки

- Е.Е. Витвицкий, Р.Е. Штицына Аспекты организации выполнения плана перевозок грузов помашинными отправлениями в городах, созданного при решении транспортной задачи линейного программирования..... 46
- Т.А. Ветрова Динамическое управление сетью городского пассажирского транспорта..... 54
- Я.Е. Пирогов, А.В. Терентьев, С.С. Евтюков Информационно-аналитическая платформа организации грузовых автомобильных перевозок в мегаполисе..... 61
- А.А. Власов, В.В. Коновалов Математическое обеспечение подсистемы светофорного управления интеллектуальной транспортной системы..... 68
- М.В. Буйлова; С.И. Корягин Методика формирования набора базовых маршрутов как этапа проектирования маршрутной сети городского общественного транспорта..... 75
- С.А. Ляпин, Д.А. Кадасев, Н.В. Воронин Обеспечение эффективности организации дорожного движения согласованием работы светофорных объектов..... 82
- С.А. Вахрушев, Л.С. Трофимова, Б.С. Трофимов Определение плановых показателей грузовых автомобильных перевозок в суровых условиях крайнего севера .. 89
- А.В. Зедгенизов, Т.Б. Брянских, С.Ю. Курдюков Организация дорожного движения при транспортном обслуживании жителей многоэтажной застройки..... 96
- Д.Г. Неволин, А.А. Цариков Совершенствование методики проектирования светофорных объектов с учетом организации пешеходного движения..... 102
- А.Н. Новиков, И.С. Митряев Совершенствование организации дорожного движения путем информатизации взаимодействия органов публичной власти с участниками дорожного движения и иными организациями..... 109

### Вопросы экологии

- Н.В. Лобов, О.С. Иванова, Д.А. Фархуллин Экспериментальное исследование модели транспортного средства с силовой установкой на водородных топливных элементах..... 116

### Образование и кадры

- Н.С. Захаров, Е.С. Козин Использование искусственных нейронных сетей для мониторинга работы производственной зоны автосервиса..... 123
- О.Ю. Лукашкова Концептуальные подходы к идентификации и оценке профессиональных компетенций персонала организации..... 131

### Экономика и управление

- Ли Сяокунь, В.В. Зырянов Реализация интеллектуальной системы управления BRT в г. Цзинань (КНР)..... 137

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

# World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 3-3(82) 2023

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> <b>A.N. Novikov</b> <i>Doc. Eng., Prof</i></p> <p><i>Associates Editor</i> <b>V.V. Vasileva</b> <i>Can. Eng.</i> <b>S.A. Rodimzev</b> <i>Doc. Eng.</i></p>	<h2 style="text-align: center;">Contents</h2> <p style="text-align: center;"><b>Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Innovations in Transport»</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Operation, Repair, Restoration</i></p> <p><i>S.A. Rodimtsev, E.N. Panin</i> <b>Influence of mode parameters of engine operation on the indicator of its effective efficiency</b> ..... 3</p> <p><i>D.I. Kozyrev, V.I. Chernyshev, A.V. Gorin, I.V. Rodicheva</i> <b>Optimality criteria the process of searching for optimal parameters for vehicle damping</b> ..... 10</p> <p><i>O.P. Kokarev, A.G. Kirillov, R.V. Nuzhdin</i> <b>Evaluation of the resource of the brake system elements</b> ..... 16</p> <p><i>A.I. Gorshkov, E.N. Gribanov, O.Yu. Konopelko, N.A. Kuznetsova</i> <b>Nature and morphology of protective coatings on titanium produced by the electrochemical method</b> ..... 23</p> <p><i>Yu.V. Garmash, I.I. Ponomareva, V.I. Sarbaev</i> <b>Structure of the internal combustion engine control cooling system</b> ..... 31</p> <p style="text-align: center;"><i>Technological machines</i></p> <p><i>N.S. Zakharov, N.O. Sapozhenkov, I.F. Shakirov</i> <b>Special vehicles fuel supply organization for airport service</b> ..... 38</p> <p style="text-align: center;"><i>Road safety and road transport</i></p> <p><i>E.E. Vitvitsky, R.E. Shipitsyna</i> <b>Aspects of organizing the implementation of the plan of cargo transportation by machine delivery in cities, created when solving the transport problem of linear programming</b> ..... 46</p> <p><i>T.A. Vetrova</i> <b>Dynamic management of the urban passenger transport network</b> ..... 54</p> <p><i>J.E. Pirogov, A.V. Terentyev, S.S. Evtyukov</i> <b>Information and analytical platform for organization of road freight transportation in megalopolis</b> ..... 61</p> <p><i>A.A. Vlasov, V.V. Kononov</i> <b>Mathematical support of the traffic light control subsystem of the intelligent transport system</b> ..... 68</p> <p><i>M.V. Builova, S.I. Koryagin</i> <b>The methodology of forming a set of basic routes as a stage of designing the route network of urban public transport</b> ..... 75</p> <p><i>S.A. Lyapin, D.A. Kadasev, N.V. Voronin</i> <b>Ensuring the efficiency of traffic management by coordinating the operation of traffic lights</b> ..... 82</p> <p><i>S.A. Vakhruшев, L.S. Trofimova, B.S. Trofimov</i> <b>Determination of planned indicators of cargo road transportation in the severe conditions of the far north</b> ..... 89</p> <p><i>A.V. Zedgenizov, T.B. Bryanskikh, S.Yu. Kurdyukov</i> <b>Organization of traffic in the transport service of residents of multi-storey buildings</b> ..... 96</p> <p><i>D.G. Nevolin, A.A. Tsarikov</i> <b>Improving the methodology of designing traffic light objects taking into account the organization of pedestrian traffic</b> ..... 102</p> <p><i>A.N. Novikov, I.S. Mitryaev</i> <b>Improving road traffic organization through the informatization of public authorities' interaction with road users and other organizations</b> ..... 109</p> <p style="text-align: center;"><i>Ecological Problems</i></p> <p><i>N.V. Lobov, O.S. Ivanova, D.A. Farkhullin</i> <b>Experimental study of vehicle model with power plant on hydrogen fuel cells</b> ..... 116</p> <p style="text-align: center;"><i>Education and Personnel</i></p> <p><i>N.S. Zakharov, E.S. Kozin</i> <b>Artificial neural networks for monitoring the operation of the car service production zone</b> ..... 123</p> <p><i>O.Y. Lukashkova</i> <b>Conceptual approaches to the identification and assessment of professional competencies of the organization's personnel</b> ..... 131</p> <p style="text-align: center;"><i>Economics and Management</i></p> <p><i>L.I. Xiaokun, V.V. Zyryanov</i> <b>Implementation of the brt intelligent control system in Jinan (China)</b> ..... 137</p>
<p><i>Editorial Board:</i> <b>E.V. Ageev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>I.E. Agureev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>A.V. Bazhinov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Ukraine)</i> <b>V.N. Baskov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>V.M. Vlasov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>S.N. Glagolev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>M. Demic</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Serbia)</i> <b>A.S. Denisov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>L. Żakowska</b> <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i> <b>S.V. Zhankaziev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>V.V. Zyryanov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>I.G. Martychenko</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>A.A. Mitusov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Kazakhstan)</i> <b>V.V. Nordin</b> <i>Can. Eng. (Russia)</i> <b>O. Prentkovskis</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Lithuania)</i> <b>P. Pribyl</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)</i> <b>A.E. Pushkarev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>A.N. Rementsov</b> <i>Doc. Edc., Prof. (Russia)</i> <b>V.I. Sarbaev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>L.A. Sivachenko</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Belarus)</i> <b>D.A. Yungmeister</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>A. Szarata</b> <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i></p>	
<p><i>Person in charge for publication:</i> <b>I.V. Akimochkina</b></p>	
<p><i>Editorial Board Address:</i> 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 <a href="https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm">https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm</a> E-mail: <a href="mailto:srmostu@mail.ru">srmostu@mail.ru</a></p>	
<p>The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate III № ФС77-67027 of August 30 2016</p>	
<p>Subscription index: <b>16376</b> in a union catalog «The Press of Russia» on sites <a href="http://www.pressa-ru.ru">www.pressa-ru.ru</a> и <a href="http://www.akc/ru">www.akc/ru</a></p>	
<p>© Registration. Orel State University, 2023</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

Научная статья

УДК 62-144.3

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-3-9

С.А. РОДИМЦЕВ, Е.Н. ПАНИН

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ НА ПОКАЗАТЕЛЬ ЕГО ЭФФЕКТИВНОГО КПД

**Аннотация.** Представлены результаты оптимизации режимных характеристик работы двигателя для средств малой механизации, по показателю эффективного КПД. Описана методика подготовки проведения полнофакторного эксперимента, с факториальной схемой  $3^3$ . Изучение параметров работы двигателя Honda GX200 осуществлялось с помощью автоматизированной лаборатории для изучения бензиновых двигателей. Управляемыми факторами выбраны положение дроссельной заслонки ( $x_1$ ), нагрузка ( $x_2$ ), и состав топливной смеси ( $x_3$ ). Установлено, что при отрицательной зависимости, наименьшее влияние на значение эффективного КПД оказывает величина подачи топливной смеси. Прилагаемая нагрузка и состав топливной смеси оказывают значительное прямое влияние на КПД изучаемого двигателя. В пределах выбранных диапазонов, увеличение значений данных факторов приводит к повышению эффективного КПД до 4%. Получено уравнение регрессии и построен график поверхности отклика эффективного КПД на изменения режимных характеристик двигателя.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, эффективный КПД, средства малой механизации, факторный анализ, оптимизация режимов работы

### Введение

Одним из наиболее важных показателей работы любого двигателя является коэффициент полезного действия (КПД). По своей сути - это характеристика, демонстрирующая, какое количество энергии топлива преобразуется в механическую работу:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}} \times 100\%, \quad (1)$$

где  $\eta$  – КПД двигателя;

$A_{\text{полезн}}$  – работа, производимая двигателем над перемещаемым телом, Дж;

$A_{\text{полн}}$  – работа, производимая над двигателем для приведения его в движение, Дж.

Эффективный КПД – это критерий оценки эффективности использования топлива в двигателе внутреннего сгорания [5]. При увеличении этого показателя снижается расход топлива, и растет энергоэффективность, а уровень выбросов в атмосферу становится ниже. Эффективный КПД двигателя зависит от различных механических потерь на разных стадиях работы. На потери влияет движение отдельных частей мотора и возникающее при этом трение. Это поршни, поршневые кольца, опорные узлы и т.д. Работа этих деталей вызывает наибольшую величину потерь, составляющие примерно 65 % от их общего количества [4]. Кроме того, потери возникают от привода систем распределения, охлаждения и смазки, действия таких механизмов, как насосы, магнето и других. Эти потери могут достигать до 18 % [6]. Незначительную часть потерь составляют сопротивления, возникающие в топливной системе во время процесса впуска и выпуска.

Потери КПД бензинового ДВС особенно существенны. Если в пересчёте на топливо-воздушную смесь чистая энергия, передающаяся двигателю, составляет до 100%, то потери после этого могут достигать 80% и более [7].

Работы по совершенствованию двигателей и повышению их эффективного КПД активно продолжаются. Так, например, китайской корпорацией Weichai заявлено о достижении эффективного КПД дизельного двигателя более 50 % и движению к новой цели - созданию дизельных двигателей с эффективным КПД 55 % [3]. Для бензиновых ДВС показатель эффективного КПД существенно ниже. Даже с учетом многих современных инженерно-технических

решений он не превышает 20-25 %. К примеру, реализация принципов управляемого самовоспламенения (УСВ-сгорание) позволяет увеличить эффективный КПД бензинового двигателя автомобиля на частичных нагрузках лишь до 20 %. Однако уже при этом, отмечается снижение вредных выбросов NOx в отработавших газах, более чем на порядок [1, 2].

Следует отметить, что успехи в совершенствовании ДВС достигнуты во многом, благодаря системным и многолетним исследованиям двигателей основных видов автомобильной, дорожно-строительной, сельскохозяйственной и иной техники. Однако в настоящее время все более востребованными становятся перспективные источники энергии и для средств малой механизации.

Основными брендами здесь являются высокотехнологичные разработки таких компаний, как Briggs & Stratton, Kohler (США); Honda, Subaru, Mitsubishi Motors Corporation (Япония); Loncin, Zongshen, Lifan, Patriot, Champion (Китай); Carver, Кадви, Крот (Россия) и т.д. Двигатели этих и других производителей с успехом используются в малогабаритных средствах механизации строителей, коммунальщиков, аграриев, ведомствах природообустройства и МЧС, войсковых соединений и в личных хозяйствах граждан.

Результатов изучения эксплуатационных показателей ДВС в данном секторе источников энергии явно недостаточно. Между тем, такие исследования будут способствовать улучшению основных рабочих параметров ДВС, их экономичности и экологичности, дальнейшему качественному развитию малой энергетики, в целом.

#### **Материал и методы**

Цель наших исследований состояла в изучении и оптимизации режимов работы малогабаритного ДВС, по критерию его эффективного КПД, на основе многофакторного анализа. В качестве объекта исследования выбран двигатель Honda GX200 (Япония) [8], устанавливаемый на многих видах строительного оборудования, генераторов, мотопомп, культиваторов и мотоблоков. Общий вид и технические характеристики двигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики двигателя Honda GX200

Наименование показателя	Значение
Общий вид	
Тип	4-тактный одноцилиндровый бензиновый двигатель, с горизонтальным расположением вала
Рабочий объем, см <sup>3</sup>	196
Полезная мощность, кВт/л.с.	4,3/5,8 (3600 мин <sup>-1</sup> )
Полезная мощность, кВт/л.с.	3,3/4,4 (3000 мин <sup>-1</sup> ) 3,7/5,0 (3600 мин <sup>-1</sup> )
Максимальный крутящий момент, Нм/кгм	12,4/1,26 (2500 мин <sup>-1</sup> )
Расход топлива при номинальной мощности, л час <sup>-1</sup>	1,7 (3600 мин <sup>-1</sup> )
Сухая масса, кг	16...17,9
Габаритные размеры, мм (Ш/В/Д)	395/335/313

Исследования проводились с помощью автоматизированной лаборатории для изучения бензиновых двигателей (рис. 1). Измерение величин и управление двигателем осуществлялось системой, разработанной на базе оборудования компании «National Instruments». Программный комплекс стенда создан в среде Labview 7.

Первичные экспериментальные данные обрабатывались с помощью электронных таблиц в программе Excel, а графическое построение поверхностей отклика по математическим моделям осуществлялось программой MathCad.

**Теория / Расчет**

Исследование выполнялось на основе многофакторного комплекса с факториальной схемой ПФЭ  $3^3$ . Принятые управляемые факторы, уровни их градации, а также критерий оптимизации и исходное уравнение регрессии представлены в таблице 2. Как видно, в качестве управляемых факторов были приняты положение дроссельной заслонки, нагрузка и состав топливной смеси. Изучаемый параметр – значение эффективного КПД двигателя. Нагрузка на двигатель регулировалась соответствующим блоком управления, входящим в комплект автоматизированной лаборатории.

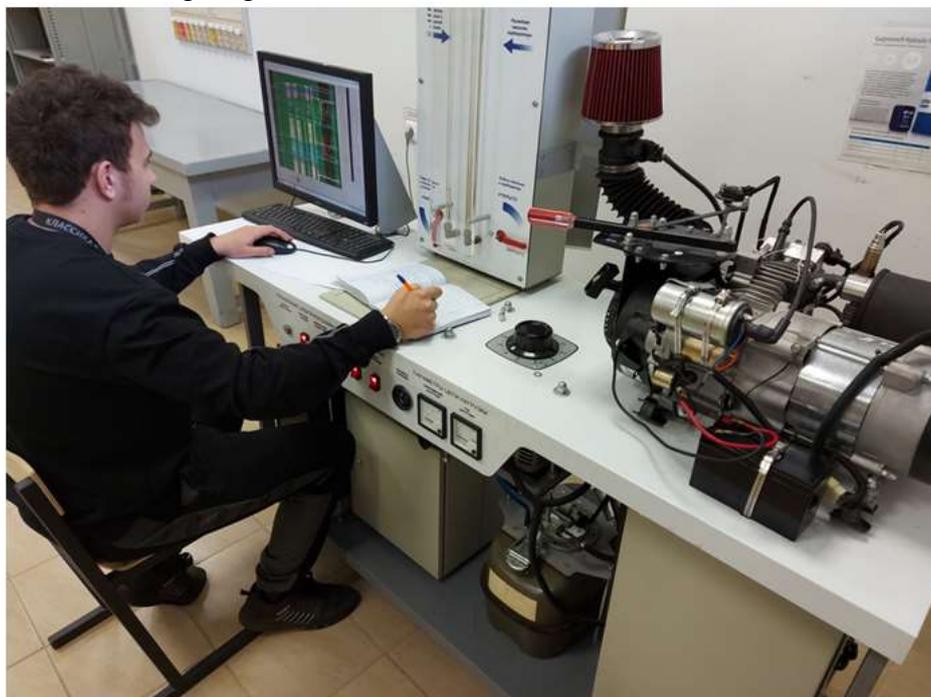


Рисунок 1 - Автоматизированная лаборатория для изучения бензиновых двигателей

Таблица 2 – Управляемые факторы и значения их варьирования

Значения	Управляемые факторы					
	Натуральные единицы			Кодированные единицы		
	Положение дроссельной заслонки, s, %	Нагрузка, p, %	Состав топливной смеси, $\lambda$ , г с-1/г с-1	x1	x2	x3
max	80	100	1,2	2	2	2
центр	45	60	1	1	1	1
min	10	20	0,8	0	0	0
Интервалы варьирования	35	40	0,2	-	-	-

Рендомизация факторного плана выполнялась с помощью генератора случайных чисел. Рендомизированный план проведения эксперимента представлен в таблице 3. Здесь же содержатся полученные в экспериментах средние значения оцениваемого параметра.

Предварительная оценка влияния на эффективный КПД управляемых факторов не позволила выявить значительную зависимость КПД от подачи топливной смеси. Как видно из графика на рисунке 2, усредненное течение функции, хоть и имеет слабо выраженную обратную регрессию, но отягощена значительной вариацией исходных данных.

Обработка результатов алгоритмом Иейтса и расчет значимости факторов и их взаимодействий методом Фишера [9] позволили предложить следующую математическую модель влияния переменных на эффективный КПД двигателя:

$$\eta_e = 0,023 + 0,008x_2 - 0,0012x_2^2 + 0,004x_3 + 0,002x_2x_3 \quad (2)$$

Таблица 3 – Рендомизированный план проведения факторного эксперимента ПФЭ<sup>3</sup>

№ опыта п/п	Код варианта плана	Уровни управляемых факторов в натуральных единицах			Эффективный КПД, %
		Положение дроссельной заслонки, %	Нагрузка, %	Состав топливной смеси, б/р	
1	2	3	4	5	6
1	111	45	60	1,0	6,6
2	212	80	60	1,2	9,0
3	001	10	20	1,0	1,5
4	100	45	20	0,8	0,6
5	210	80	60	0,8	6,0
6	012	10	60	1,2	9,0
7	021	10	100	1,0	6,0
8	120	45	100	0,8	4,5
9	202	80	20	1,2	1,2
10	002	10	20	1,2	9,0
11	102	45	20	1,2	1,2
12	121	45	100	1,0	4,5
13	221	80	100	1,0	3,9
14	211	80	60	1,0	7,2
15	222	80	100	1,2	10,8
16	110	45	60	0,8	6,0
17	000	10	20	0,8	0,6
18	022	10	100	1,2	7,2
19	101	45	20	1,0	0,66
20	220	80	100	0,8	3,9
21	010	10	60	0,8	5,34
22	201	80	20	1,0	0,75
23	122	45	100	1,2	5,4
24	011	10	60	1,0	6,6
25	200	80	20	0,8	0,6
26	112	45	60	1,2	8,7
27	020	10	100	0,8	4,8

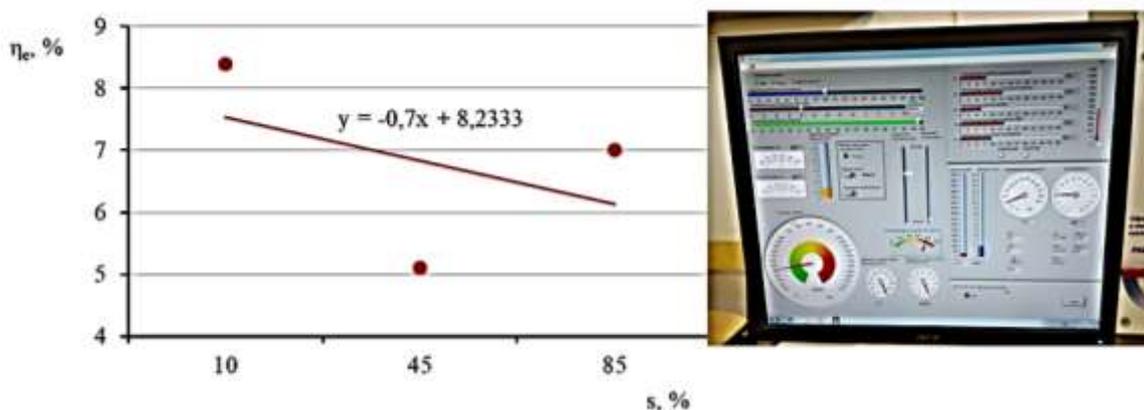


Рисунок 2 - Влияние величины подачи топливной смеси на показатель эффективного КПД (а) и соответствующее значение частоты оборотов двигателя интерфейса в среде Labview 7

### Результаты и обсуждение

Как следует из численных значений коэффициентов уравнения регрессии, оба фактора ( $x_2$ ;  $x_3$ ) имеют положительное влияние на эффективный КПД. Наиболее значимой является зависимость КПД двигателя от прилагаемой нагрузки. Так, для максимально обедненной смеси, при увеличении нагрузки от 20 % до 100 %, эффективный КПД изменялся от 7,14 %

до 10,74 %, т.е. почти на 4 %. При этом, изменение состава смеси от лямбды 0,8 до 1,2 единицы, т.е. в пределах соотношения 11,2 к одному – 16,8 к одному, способствовало повышению численного значения КПД лишь на 2,6 %, при максимальной нагрузке.

Поверхность отклика (рис. 3) имеет максимум в точке взаимодействия факторов  $x_2$  и  $x_3$ . Отсюда следует, что наибольшего значения эффективного КПД для данного типа двигателя возможно достичь при обедненной смеси и максимальной нагрузке на двигатель.

### Выводы

Переходя к основным выводам и, учитывая значение величины подачи топливной смеси, следует констатировать, что максимальный эффективный КПД двигателя общего назначения Honda GX200 достигает 11 %, при максимальной нагрузке, обедненной топливной смеси и минимальной подаче топлива. В то же время, как было видно из графика на рисунке 2, угол открытия дроссельной заслонки 10 % обеспечивает нагрузочный режим работы двигателя, примерно, в 1400 мин<sup>-1</sup>. Номинальная же мощность данного двигателя достигается при частоте оборотов вала в диапазоне 3000...3600 мин<sup>-1</sup> [8].

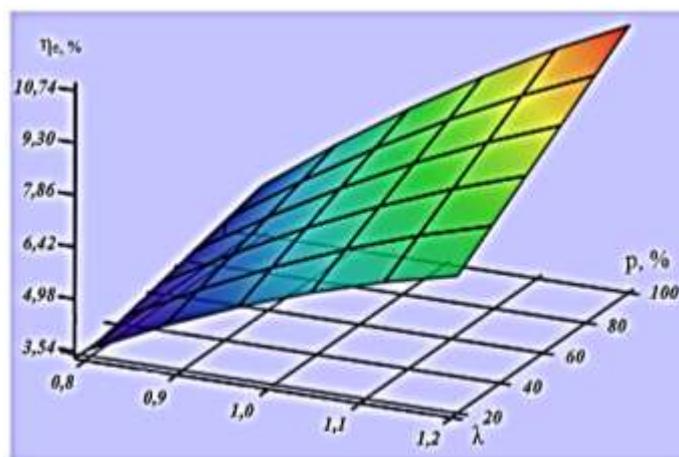


Рисунок 3 – Поверхность отклика, по результатам полнофакторного анализа

Отсюда следует, что оптимальный режим работы двигателя по параметру подачи топлива достигается при открытии дросселя в 45-50 %, при выше указанных значениях нагрузки и составе топливной смеси. Частота оборотов вала двигателя при этом будет находиться в пределах 3200-3600 мин<sup>-1</sup>, что обеспечит развиваемую мощность 3,3-3,7 кВт.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Epping K., Aceves S., Behtold R., Dec J. The Potential of HCCI Combustion for High Efficiency and Low Emissions // SAE Paper. - №2002-01-1923. - 2002.
2. Fuerhapter A., Unger E., Piock W.F., Fraidl G.K. The new AVL CSI Engine – HCCI Operation on a Multi Cylinder Gasoline Engine // SAE Paper. - №2004-01-0551. - 2004.
3. Wang Z., Shuai, S., Li, Z., Yu, W. A Review of Energy Loss Reduction Technologies for Internal Combustion Engines to Improve Brake Thermal Efficiency // Energies. – 2021. – 14. - 6656.
4. Сергеев Н.В. Силовые агрегаты. Конспект лекций: учебное пособие. – зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 186 с.
5. Соколов М.А., Кузьмичев В.С., Кулагин В.В., Крупенич И.Н., Ткаченко А.Ю. Предварительное исследование закономерностей изменения эффективного КПД турбовальных двигателей различных схем с регенерацией тепла и промежуточным охлаждением рабочего тела // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. - №3(27). – 2011. - С. 21-29.
6. Кравченко В.А., Сергеев Н.В. Тракторы и автомобили: конструкция двигателей. - зерноград, 2018. – Ч. 1. - 280 с.
7. Крохта Г.М., Иванников А.Б., Пронин Е.А. Повышение эффективности самоходных машин в зимний период эксплуатации путем вторичного использования бросовой теплоты двигателя // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - №4(114). – 2014. - С. 127-133.
8. Honda. Руководство пользователя. Manuel de l'utilisateur manual del propietario GX120 · GX160 · GX200, 2005. - 20 с.

9. Дэниел К. Применение статистики в промышленном эксперименте (перевод с англ.). - М.: Мир., 1979. – 189 с.
10. Климов А.В. Влияние массы рычага на динамические характеристики рычажной релаксационной виброзащитной системы // Сб. науч. тр. - Т.9. – Орел: ОрелГТУ. - 1997. – С. 156-158.
11. Фоминова О.В. Динамика виброзащитной системы с фрикционным демпфером прерывистого действия: Дис. ... канд. техн. наук. – Орел, 2003. – 172 с.
12. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MATLAB7: программирование, численные методы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.
13. Алифов А.А., Фролов К.А. Взаимодействие нелинейных колебательных систем с источниками энергии. – М.: Наука, 1985. – 327 с.
14. Кириллов А.Г., Смирнов Д.Н., Кокарев О.П. Исследование надежности механизмов тормозных систем автомобилей // Информационные технологии и инновации на транспорте: 5-ая Международная научно-практическая конференция. – 2019. - Орел.
15. Баженов Ю.В., Денисов И.В. Исследование безотказности рабочей тормозной системы автомобилей ВАЗ-21703 // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - №6. - С. 39.
16. Болдин А.П., Максимов В.А. Основы научных исследований: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. - М: Издательский центр «Академия». - 2012. – С. 57.
17. Баженов Ю.В., Баженов М.Ю. Основы надежности и работоспособности технических систем: учеб. пособие. – Владимир: ВлГУ, 2017. – 267 с.
18. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учеб. для вузов. – М.: Магистр-Пресс, 2005. – 536 с.
19. Герасимов А.В. Методы идентификации и оперативного прогнозирования состояния агрегатов автомобиля для автоматизированной бортовой системы управления: Дис. ... канд. техн. наук. - Москва, 2014. - 116 с.

**Родимцев Сергей Александрович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77  
Д.т.н., доцент, профессор кафедры сервиса и ремонта машин  
E-mail: rodimtcev@yandex.ru

**Панин Евгений Николаевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77  
Студент  
E-mail: panin.eugeni@yandex.ru

---

S.A. RODIMTSEV, E.N. PANIN

## INFLUENCE OF MODE PARAMETERS OF ENGINE OPERATION ON THE INDICATOR OF ITS EFFECTIVE EFFICIENCY

**Abstract.** *The results of optimizing the regime characteristics of the engine operation for small-scale mechanization, in terms of effective efficiency, are presented. A technique for preparing a full-factorial experiment with a factorial scheme of 33 is described. The study of the parameters of the Honda GX200 engine is carried out using an automated laboratory for the study of gasoline engines. Controlled factors are throttle position ( $x_1$ ), load ( $x_2$ ), and fuel mixture composition ( $x_3$ ). It has been established that with a negative dependence, the value of the effective efficiency has the least influence on the value of the fuel mixture supply. The applied load and composition of the fuel mixture have a significant direct effect on the efficiency of the engine under study. Within the selected ranges, an increase in the values of these factors leads to an increase in the effective efficiency up to 4%. A regression equation is obtained and a graph of the effective efficiency response surface to changes in the engine performance characteristics is plotted.*

**Keywords:** *internal combustion engine, effective efficiency, small-scale mechanization, factor analysis, optimization of operating modes*

### BIBLIOGRAPHY

1. Epping K., Aceves S., Behtold R., Dec J. The Potential of HCCI Combustion for High Efficiency and Low Emissions // SAE Paper. - №2002-01-1923. - 2002.
2. Fuerhapter A., Unger E., Piock W.F., Fraidl G.K. The new AVL CSI Engine - HCCI Operation on a Multi Cylinder Gasoline Engine // SAE Paper. - №2004-01-0551. - 2004.

3. Wang Z., Shuai, S., Li, Z., Yu, W. A Review of Energy Loss Reduction Technologies for Internal Combustion Engines to Improve Brake Thermal Efficiency // *Energies*. - 2021. - 14. - 6656.
4. Sergeev N.V. Silovye agregaty. Konspekt lektsiy: uchebnoe posobie. - Zernograd: Azovo-Chernomorskiy inzhenernyy institut FGBOU VPO DGAU, 2015. - 186 s.
5. Sokolov M.A., Kuz'michev V.S., Kulagin V.V., Krupenich I.N., Tkachenko A.Yu. Predvaritel'noe issledovanie zakonornostey izmeneniya effektivnogo KPD turboval'nykh dvigateley razlichnykh skhem s regeneratsiyey tepla i promezhutochnym okhlazhdeniem rabocheho tela // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aérokosmicheskogo universiteta*. - №3(27). - 2011. - S. 21-29.
6. Kravchenko V.A., Sergeev N.V. Traktory i avtomobili: konstruktsiya dvigateley. - Zernograd, 2018. - CH. 1. - 280 s.
7. Krokhta G.M., Ivannikov A.B., Pronin E.A. Povyshenie effektivnosti samokhodnykh mashin v zimniy period ekspluatatsii putem vtorichnogo ispol'zovaniya brosovoy teploty dvigatelya // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. - №4(114). - 2014. - S. 127-133.
8. Honda. Rukovodstvo pol'zovatelya. Manuel de l'utilisateur manual del propietario GX120 - GX160 - GX200, 2005. - 20 s.
9. Deniel K. Primenenie statistiki v promyshlennom eksperimente (perevod s angl.). - M.: Mir., 1979. - 189 s.
10. Klimov A.V. Vliyanie massy rychaga na dinamicheskie kharakteristiki rychazhnoy relaksatsionnoy vibrozashchitnoy sistemy // *Sb. nauch. tr. - T.9. - Orel: OrelGTU. - 1997. - S. 156-158.*
11. Fominova O.V. Dinamika vibrozashchitnoy sistemy s friktsionnym dempferom preryvistogo deystviya: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Orel, 2003. - 172 s.
12. Ketkov Yu.L., Ketkov A.Yu., Shul'ts M.M. MATLAB7: programmirovaniye, chislennyye metody. - SPb.: BHV-Peterburg, 2005. - 752 s.
13. Alifov A.A., Frolov K.A. Vzaimodeystvie nelineynykh kolebatel'nykh sistem s istochnikami energii. - M.: Nauka, 1985. - 327 s.
14. Kirillov A.G., Smirnov D.N., Kokarev O.P. Issledovanie nadezhnosti mekhanizmov tormoznykh sistem avtomobiley // *Informatsionnyye tekhnologii i innovatsii na transporte: 5-aya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. - 2019. - Orel.*
15. Bazhenov Yu.V., Denisov I.V. Issledovanie bezotkaznosti rabochey tormoznoy sistemy avtomobiley VAZ-21703 // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. - 2013. - №6. - S. 39.*
16. Boldin A.P., Maksimov V.A. Osnovy nauchnykh issledovaniy: uchebnyk dlya stud. uchrezhdeniy vyssh. prof. obrazovaniya. - M: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya». - 2012. - S. 57.
17. Bazhenov Yu.V., Bazhenov M.Yu. Osnovy nadezhnosti i rabotosposobnosti tekhnicheskikh sistem: ucheb. posobie. - Vladimir: VIGU, 2017. - 267 s.
18. Zorin V.A. Osnovy rabotosposobnosti tekhnicheskikh sistem: ucheb. dlya vuzov. - M.: Magistr-Press, 2005. - 536 s.
19. Gerasimov A.V. Metody identifikatsii i operativnogo prognozirovaniya sostoyaniya agregatov avtomobilya dlya avtomatizirovannoy bortovoy sistemy upravleniya: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Moskva, 2014. - 116 s.

**Rodimtsev Sergey Alexandrovich**

Oryol State University  
Adress: 302030, Russia, Orel, Moscow str., 77  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: rodimcew@yandex.ru

**Panin Evgeny Nikolaevich**

Oryol State University  
Adress: 302030, Russia, Orel, Moscow str., 77  
Student  
E-mail: panin.eugeni@yandex.ru

Научная статья

УДК 629.08

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-10-15

Д.Л. КОЗЫРЕВ, В.И. ЧЕРНЫШЕВ, А.В. ГОРИН, И.В. РОДИЧЕВА

## КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРОЦЕСС ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ДЕМПФИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Аннотация.* В статье рассматриваются подходы и методы при проведении процесса оптимизации виброзащитной рычажной релаксационной подвески. Изложены как теоретические основы, так и их применение в современных системах компьютерного моделирования. Приведены результаты оптимизации, подтверждающие эффективность предложенного метода.

*Ключевые слова:* математическая модель, критерий оптимизации, механические колебания, метод Зейделя–Гаусса, фазовый портрет

### **Введение**

Математические модели являются упрощением реального технического объекта и не могут учесть все аспекты работы. Внешние факторы часто носят случайный характер и не могут быть учтены в модели со стопроцентной точностью. Однако математическое моделирование позволяет успешно решать ряд задач [1-3]:

- выявить и описать взаимосвязи между отдельными узлами транспортного средства;
- спрогнозировать поведение объекта в различных дорожных условиях, выработать на основании этого прогноза корректирующее управляющее воздействие;
- упростить проектирование и провести оптимизацию параметров.

На сегодняшний день процессу поиска оптимальных решений уделяется повышенное внимание как при модернизации существующих, так и при проектировании новых видов автотранспорта. Процесс оптимизации сопряжен с целым рядом противоречий. [4,5] Технологические, конструктивные, экономические аспекты накладывают ограничения на возможность варьировать параметры технической системы. Сам же процесс оптимизации часто представляется весьма трудоемким, часто просто физически не представляется возможным рассмотреть все возможные вариации технической системы, поэтому большое внимание уделяется алгоритму поиска оптимального решения, позволяющему значительно сократить время поиска [6, 7].

При проведении исследований по оптимизации прежде всего следует определить цель (критерий) оптимизации. При демпфировании автотранспортных средств, как правило, стремятся минимизировать амплитуду колебаний, а также не допускать колебаний с частотой, имеющей негативное физиологическое воздействие на водителя. Также стремятся сократить длительность возникающих переходных колебательных процессов.

Универсальным комплексным критерием, который косвенно учитывает вышеперечисленные аспекты, может выступать следующий интегральный критерий [8]

$$I = \int_0^T x^2(t) dt, \quad (1)$$

где  $x(t)$  – функция рассматриваемого колебательного процесса;

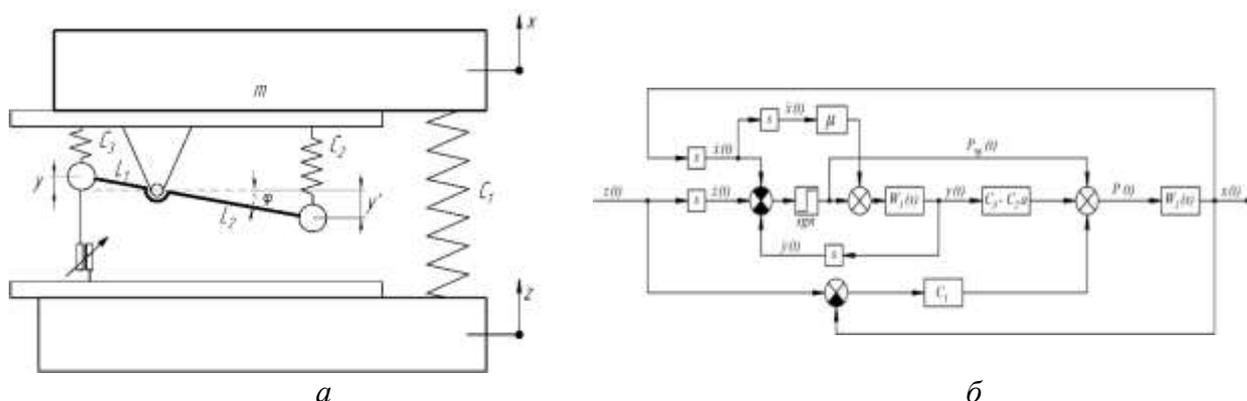
$T$  – период наблюдения достаточный для статистического учета неровностей дорожного полотна.

В данном критерии квадрат функции  $x^2(t)$  позволяет обеспечить учет как положительных, так и отрицательных отклонений от положения равновесия. При оптимизации стремятся обеспечить минимальное значение критерия  $I$ . Основное преимущество инте-

гального критерия состоит в том, что мы имеем единую относительно легко вычисляемую числовую характеристику колебательного процесса. Отметим, что недостатком такого подхода является некоторая неоднозначность полученного решения. Так критерий слабо учитывает частотные характеристики колебательного процесса [9].

**Теория**

Рассматриваемый объект исследования представляет собой рычажную релаксационную подвеску с демпфером сухого трения (рис 1 а). Система включает в себя объект защиты; основание, воспринимающие внешнюю вибрацию; несущий упругий элемент и исследуемую подвеску. Релаксационная подвеска при помощи кронштейнов соединена с объектом защиты и основанием. На верхнем кронштейне находится двуплечный рычаг, левый конец которого соединен с нижним кронштейном упругим элементом  $C_2$ . Также левый конец рычага шарнирно соединен с управляемым фрикционным демпфером  $\mu$ , который также соединен с нижним кронштейном. На концах рычага для придания большего момента инерции закреплены дополнительные массы, так что центр тяжести рычага находится не на оси вращения. Правый конец рычага также соединен упругим элементом  $C_3$  с верхним кронштейном. Релаксационность подвески подразумевает ненагруженность упругих элементов  $C_2$  и  $C_3$  в состоянии равновесия. Наличие релаксационных элементов позволяет снизить амплитуду колебаний на резонансных частотах [10, 11], а также повысить износостойкость. Несимметричный рычаг выступает также в качестве antivibratora и снижает негативное влияние резонансных процессов.



**Рисунок 1 – Объект оптимизации**  
 а - схема рычажной виброзащитной подвески; б - структурная схема

Работу виброзащитной подвески можно описать следующей системой дифференциальных уравнений [10, 13]

$$\begin{cases} P_0 \operatorname{sgn}(\dot{z} - \dot{y} - \dot{x}) - (C_2 a^2 + C_3) y - M \ddot{y} = 0, \\ P_0 \operatorname{sgn}(\dot{z} - \dot{y} - \dot{x}) + (C_3 + C_2 a) y + C_1 (z - x) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Также взаимосвязи между элементами технической системы удобно представлять в виде структурной схемы (рис. 1 б) [5]. Это дает возможность использовать современные системы компьютерного моделирования (MATLAB, SciLab). Математическая модель в таких системах строится на основе структурных схем с использованием графического языка программирования, что в значительной мере упрощает работу инженера и не требует от него высоких навыков в программировании [14-16].

В рассматриваемой подвеске допускается варьирование четырех параметров: соотношения плеч рычага  $a$ , силы демпфирования  $P_0$  и жесткости пружин  $C_2$  и  $C_3$ . Применяемый метод поиска оптимальных параметров системы заключается в последовательном изменении каждого варьируемого параметра до тех пор, пока не будет достигнут минимум критерия оптимальности. При завершении процедуры для каждой переменной, следует вернуться к первой и повторить тот же процесс. Это может позволить найти более оптимальное решение [17]. Суть данного метода Зейделя–Гаусса (метода покоординатного спуска) для двух варьируемых

параметров, откладываемых по осям  $x$  и  $y$  представлена на рисунке 2. Значения критерия оптимальности задано линиями уровня. И пусть необходимо провести оптимизацию по двум параметрам. Задаем начальную точку  $X_1$  (начальные параметры  $x_1$  и  $y_1$  соответствуют рассматриваемым координатам точки  $X_1$ ). Производим поиск по координате  $x$ , последовательно находя минимум значений  $I(x_i, y_1)$ , где  $x_i$  изменяется следующим образом с шагом  $\lambda_x$

$$x_{i+1} = x_i + \lambda_x. \quad (3)$$

Получаем оптимизированную по параметру  $x$  точку  $X_2$ . Повторяем те же действия для параметра  $y$ . Последовательно находим теперь минимум значений  $I(x', y_i)$ , где теперь  $y_i$  изменяется следующим с шагом  $\lambda_y$ , а  $x'$  – найденное текущее оптимальное значение  $x$

$$y_{i+1} = y_i + \lambda_y. \quad (4)$$

Получаем оптимизированную по параметру  $y$  точку  $X_3$ . Далее повторяем поиск по параметру  $x$ , но берем только что найденное текущее оптимальное значение  $y'$ . Получаем точку  $X_4$ . Затем сравниваем значения критерия оптимальности в точках  $X_3$  и  $X_4$ . Если не наблюдается значительного эффекта прекращаем поиск, иначе продолжаем процедуру. Таким образом можем сформулировать условие окончания процесса оптимизации

$$I_i - I_{i+1} < \varepsilon, \quad (5)$$

где  $\varepsilon$  – минимальное значение, которое признано эффективным при дальнейшем уменьшении критерия качества [17, 18].

Как видно из рисунка 2 при выполнении поиска неизбежно происходит приближение к локальному минимуму.

Отметим, что данный наиболее эффективен при условии, что линии уровня функции критерия оптимальности по форме близки к эллипсам, оси которых параллельны осям координат. Если же наблюдается наклон осей к координатным осям, эффективность метода снижается и возрастает количество необходимых итераций [19, 20].

Несмотря на недостатки метод покоординатного спуска часто применяется для первичной оценки возможности оптимизации [21, 22].

### Результаты и обсуждение

Последовательно применяя метод Зейделя-Гаусса были получены следующие функциональные зависимости для четырех варьируемых параметров (рис. 3).

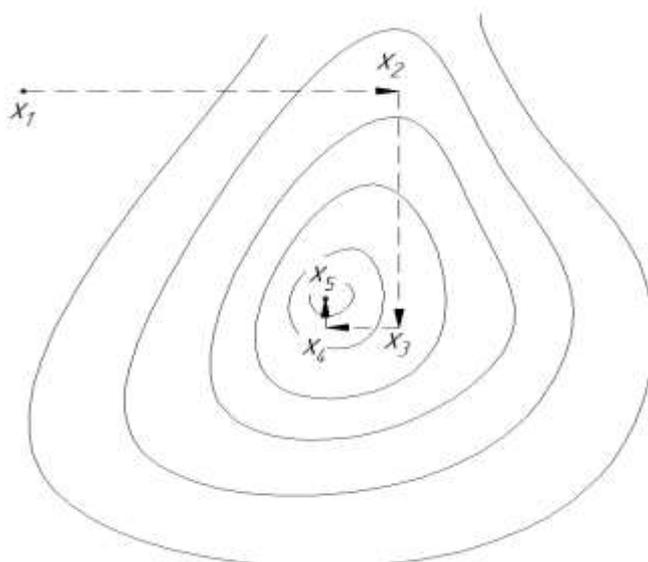
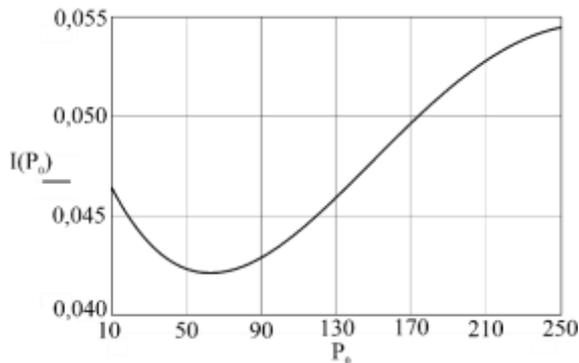
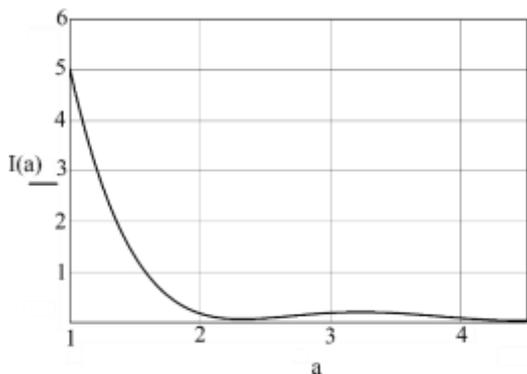


Рисунок 2 – Метод Зейделя-Гаусса



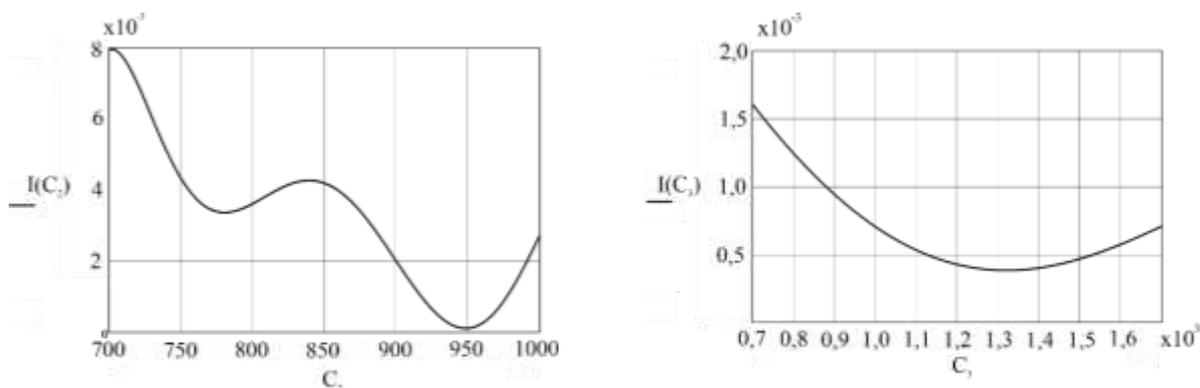


Рисунок 3 – Процесс оптимизации по четырем параметрам

Также на рисунках 4а и 4б представлены фазовые портреты системы до и после процесса оптимизации соответственно. Фазовые портреты являются удобным средством визуализации динамических свойств механической системы. На данных портретах показаны отклонения от положения равновесия (ось  $x$ ) и скорость этого отклонения (ось  $y$ ), то есть первая производная, при синусоидальном внешнем воздействии. Можно заметить, как снижение амплитуды колебаний, так и быстро затухающий переходный процесс. Замкнутая траектория свидетельствует о установившихся колебаниях.

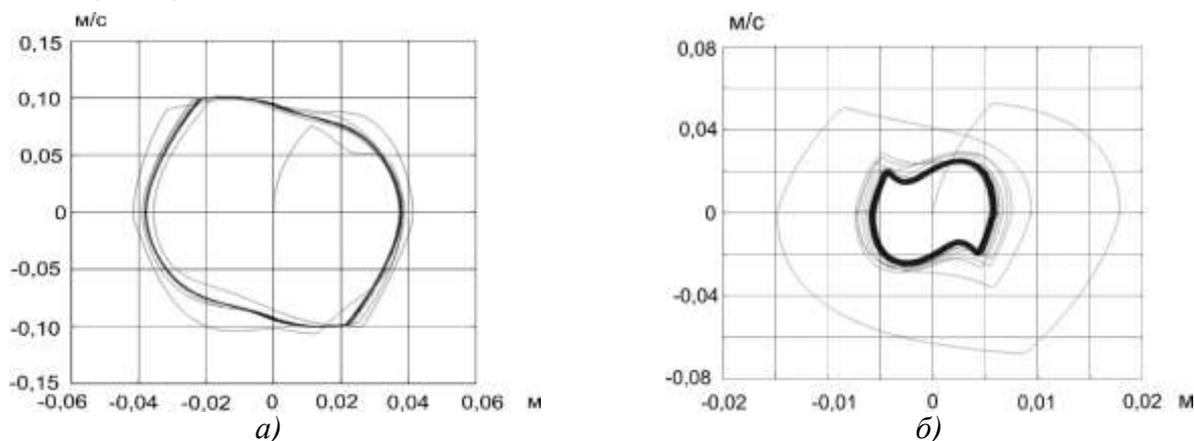


Рисунок 4 – Результаты оптимизации

### Выводы

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать общие принципы процесса оптимизации технических систем:

- перед началом оптимизации следует определиться с критерием, по которому она будет проводиться;
- с ростом числа варьируемых параметров число вариаций системы возрастает экспоненциально, поэтому необходимо выбрать метод, позволяющий добиться результата за приемлемое время;
- рассмотренный метод Зейделя-Гаусса обладает рядом недостатков, перечисленных выше, однако вполне применим при проектировании автотранспортных средств, так как имеется возможность варьировать параметры только в ограниченных пределах и с определенным шагом;
- приведенные результаты численного моделирования свидетельствуют о перспективности применения рассматриваемой рычажной релаксационной подвески.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бенькович Е.С., Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Практическое моделирование динамических систем. – СПб.: ВХБ-Петербург, 2002. – 464 с.
2. Кондрашов В.Е., Королев С.Б. MATLAB как система программирования научно-технических расчетов. – М.: Мир, 2002. – 350 с.
3. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с.

4. Герман-Галкилл С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
5. Половко А.М., Бутусов П.Н. Интерполяция. Методика и компьютерные технологии их реализации. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
6. Блехман И.И. Вибрационная механика. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
7. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
8. Бабаков Н.А., Воронов А.А., Воронова А.А. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов / под ред. А.А. Воронова. - В 2-х ч. - Ч. I. Теория линейных систем автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1986. – 367 с.
9. Соболев И.М., Статник Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 107 с.
10. Климов А.В. Динамика рычажной релаксационной подвески с прерывистым демпфированием: Дис. ... канд. техн. наук. – Орел, 2001. – 115 с.
11. Климов А.В. Влияние массы рычага на динамические характеристики рычажной релаксационной виброзащитной системы // Сб. науч. тр. - Т.9. – Орел: ОрелГТУ. - 1997. – С. 156-158.
12. Фомина О.В. Динамика виброзащитной системы с фрикционным демпфером прерывистого действия: Дис. ... канд. техн. наук. – Орел, 2003. – 172 с.
13. Чернышев В.И., Горин А.В., Фомина О.В. Виброзащитные системы транспортных средств: активное управление и оптимизация // Мир транспорта и технологических машин. - 2021. - №4(75). - С. 20-26.
14. Черных В.И. SIMULINK: Среда создания инженерных приложений / под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
15. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В., Рудченко Е.А. Scilab: Решение инженерных и математических задач. – М: ATL Linux; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 269 с.
16. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MATLAB7: программирование, численные методы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.
17. Алифов А.А., Фролов К.А. Взаимодействие нелинейных колебательных систем с источниками энергии. – М.: Наука, 1985. – 327 с.
18. Воронников В.И., Румянцев В.В. Устойчивость и управления по части координат фазового вектора динамических систем: теория, методы и приложения. – М.: Научный мир, 2001. – 320 с.
19. Синев А.В. Динамические свойства линейных виброзащитных систем. – М.: Наука, 1982. – 206 с.
20. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами / под ред. П.Д. Крутько. – М.: Наука, 1986. – 240 с.
21. Лапчик М.П., Рагулина М.И., Хеннер Е.К. Численные методы: Учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Академия, 2004. – 384 с.
22. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: практическое руководство. Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 238 с.

**Козырев Дмитрий Леонидович**

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

**Чернышев Владимир Иванович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
Д.т.н., профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники  
E-mail: chernyshev\_46@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: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
Аспирант  
E-mail: rodfox@yandex.ru

---

D.L. KOZYREV, V.I. CHERNYSHEV, A.V. GORIN, I.V. RODICHEVA

**OPTIMALITY CRITERIA THE PROCESS OF SEARCHING FOR  
OPTIMAL PARAMETERS FOR VEHICLE DAMPING**

*Abstract. The article discusses approaches and methods in the process of optimizing a vibration-proof lever relaxation suspension. Both the theoretical foundations and their application in*

*modern computer simulation systems are outlined. The results of optimization confirming the effectiveness of the proposed method are presented.*

**Keywords:** *mathematical model, optimization criterion, mechanical vibrations, Seidel–Gauss method, phase portrait*

## BIBLIOGRAPHY

1. Ben`kovich E.S., Kolesov Yu.B., Senichenkov Yu.B. Prakticheskoe modelirovanie dinamicheskikh sistem. - SPb.: VHB-Peterburg, 2002. - 464 s.
2. Kondrashov V.E., Korolev S.B. MATLAB kak sistema programmirovaniya nauchno-tekhnicheskikh raschetov. - M.: Mir, 2002. - 350 s.
3. D`yakonov V.P., Kruglov V.V. MATLAB. Analiz, identifikatsiya i modelirovanie sistem. Spetsial`nyy spravochnik. - SPb.: Piter, 2002. - 448 s.
4. German-Galkiln S.G. Matlab & Simulink. Proektirovanie mekhatronnykh sistem na PK. - SPb.: KORONA-Vek, 2008. - 368 s.
5. Polovko A.M., Butusov P.N. Interpolyatsiya. Metodika i komp`yuternye tekhnologii ikh realizatsii. - SPb.: BHV-Peterburg, 2004.
6. Blekhman I.I. Vibratsionnaya mekhanika. - M.: Fizmatlit, 1994. - 400 s.
7. Biderman V.L. Teoriya mekhanicheskikh kolebaniy: Uchebnik dlya vuzov. - M.: Vysshaya shkola, 1980. - 408 s.
8. Babakov N.A., Voronov A.A., Voronova A.A. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya: Ucheb. dlya vuzov / pod red. A.A. Voronova. - V 2-kh ch. - Ch. I. Teoriya lineynykh sistem avtomaticheskogo upravleniya. - M.: Vysshaya shkola, 1986. - 367 s.
9. Sobol` I.M., Statnik R.B. Vybora optimal`nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami. - M.: Nauka, 1981. - 107 s.
10. Klimov A.V. Dinamika rychazhnoy relaksatsionnoy podveski s preryvistym dempfirovaniem: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Orel, 2001. - 115 s.
11. Klimov A.V. Vliyanie massy rychaga na dinamicheskie kharakteristiki rychazhnoy relaksatsionnoy vibrozashchitnoy sistemy // Sb. nauch. tr. - T.9. - Orel: OrelGTU. - 1997. - S. 156-158.
12. Fominova O.V. Dinamika vibrozashchitnoy sistemy s friktsionnym dempferom preryvistogo deystviya: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Orel, 2003. - 172 s.
13. Chernyshev V.I., Gorin A.V., Fominova O.V. Vibrozashchitnye sistemy transportnykh sredstv: aktivnoe upravlenie i optimizatsiya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №4(75). - S. 20-26.
14. Chernykh V.I. SIMULINK: Sreda sozdaniya inzhenernykh prilozheniy / pod obshch. red. V.G. Potemkina. - M.: DIALOG-MIFI, 2003. - 496 s.
15. Alekseev E.R., Chesnokova O.V., Rudchenko E.A. Scilab: Reshenie inzhenernykh i matematicheskikh zadach. - M.: ATL Linux; BINOM. Laboratoriya znaniy, 2008. - 269 s.
16. Ketkov Yu.L., Ketkov A.Yu., Shul`ts M.M. MATLAB7: programmirovaniye, chislennyye metody. - SPb.: BHV-Peterburg, 2005. - 752 s.
17. Alifov A.A., Frolov K.A. Vzaimodeystvie nelineynykh kolebatel`nykh sistem s istochnikami energii. - M.: Nauka, 1985. - 327 s.
18. Vorotnikov V.I., Rummyantsev V.V. Ustoychivost` i upravleniya po chasti koordinat fazovogo vektora dinamicheskikh smstem: teoriya, me`ody i prilozheniya. - M.: Nauchnyy mir, 2001. - 320 s.
19. Sinev A.V. Dinamicheskie svoystva lineynykh vibrozashchitnykh sistem. - M.: Nauka, 1982. - 206 s.
20. Volgin L.N. Optimal`noe diskretnoe upravlenie dinamicheskimi sistemami / pod red. P.D. Krut`ko. - M.: Nauka, 1986. - 240 s.
21. Lapchik M.P., Ragulina M.I., Henner E.K. Chislennyye metody: Ucheb. posobie dlya stud. vuzov. - M.: Akademiya, 2004. - 384 s.
22. Shup T. Reshenie inzhenernykh zadach na EVM: prakticheskoe rukovodstvo. Per. s angl. - M.: Mir, 1982. - 238 s.

### **Kozyrev Dmitry Leonidovich**

Orel State University  
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Engineer  
E-mail: kozyrev.dd@yandex.ru

### **Chernyshev Vladimir Ivanovich**

Orel State University  
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
doctor of technical sciences  
E-mail: chernyshev\_46@mail.ru

### **Gorin Andrey Vladimirovich**

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

### **Rodicheva Irina Vladimirovna**

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

Научная статья  
 УДК 629.113  
 doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-16-22

О.П. КОКАРЕВ, А.Г. КИРИЛЛОВ, Р.В. НУЖДИН

## ОЦЕНКА РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены влияние параметров при торможении на ресурс элементов тормозной системы, условия эксплуатации и движения автомобилей. Проведено исследование по получению рассматриваемых параметров в реальных условиях эксплуатации. Разработана математическая модель оценки и прогнозирования остаточного ресурса через удельную работу трения тормозных механизмов с учетом условий эксплуатации. Полученные результаты имеют практическое применение при техническом обслуживании для обеспечения работоспособности тормозной системы с корреляцией экономического фактора.

**Ключевые слова:** тормозная система, условия эксплуатации, удельная работа трения, скорость изнашивания, энергетическая интенсивность изнашивания

Тормозная система (ТорС) является одной из главной составляющей активной безопасности дорожного движения [1, 2]. С увеличением количества автомобилей возрастает и риск увеличения дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Каждое ДТП влечет за собой множество ресурсных затрат (от материальных до состояния здоровья людей). Поэтому техническому состоянию ТорС следует уделять особенное внимание. В связи с этим актуальным вопросом является обеспечение работоспособности тормозной системы. Преобладающее большинство отказов элементов ТорС легковых автомобилей приходится на тормозные механизмы (ТМ), которые исследуются в данной статье. По статистике, лимитирующими элементами надежность ТорС являются тормозные колодки (ТК) и тормозные диски (ТД). В соответствии со стратегиями технического обслуживания, для ТК и ТД принята стратегия обслуживания по контролю структурного параметра (толщина рабочего тела). Критерии начальных и допустимых значений структурных параметров установлены заводом-изготовителем автомобиля и имеют количественную оценку.

Межсервисный интервал технического обслуживания автомобилей категории М1 марки КИА составляет 15000 км [3], но замена элементов ТорС может на практике осуществляться на разных интервалах наработки. Для исследуемого механизма отсутствуют конкретные рекомендации в сервисной книге по техническому обслуживанию данного узла, а также нет рекомендаций по наработке на отказ элементов ТорС. Поэтому работоспособность ТМ зависит исключительно от его технического состояния, которое определяется условиями эксплуатации [4, 5].

В работах [6, 6] представлены исследования по определению режимов эксплуатации. Определены режимы эксплуатации автомобиля с точки зрения интенсивности его работы и в частности тормозной системы: «Город» и «Трасса». Опытным путем выведен коэффициент Кокарева  $K_K = \frac{N}{L}$ , позволяющий судить об интенсивности эксплуатации (табл. 1) в зависимости от предложенных режимов.

Таблица 1 – Коэффициент Кокарева и количество рабочих циклов ТорС за 15237 км

№ п/п	Режим	Интенсивность эксплуатации, %								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	Город, $L_1$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
2	Трасса, $L_2$	90	80	70	60	50	40	30	20	10
3	Кoeff-т Кокарева, $K_K$	1,53	2,17	2,8	3,43	4,07	4,7	5,33	5,97	6,6
4	Кол-во рабочих циклов ТорС, $\Sigma N$	23291	33034	42624	52215	61958	71548	81139	90881	100472

Данные таблицы 1 позволяют сделать вывод о том, что чем выше значение коэффициента Кокарева, тем эксплуатация больше соответствует режиму «Город». Принимая во внимание значения счетчика срабатываний TopC, выдвигаем гипотезу о пропорциональной зависимости износа ТК и ТД от значения  $K_K$ .

Количественными характеристиками процесса изнашивания являются износ, скорость изнашивания и интенсивность изнашивания [8-10].

Зависимость износа ТК и ТД от наработки для установившегося режима имеет вид:

$$\gamma = \frac{U}{t}, \quad (1)$$

где  $U$  – линейный износ, т.е. изменение геометрического размера элемента TopC, измеренное в направлении, перпендикулярном к поверхности трения;

$\gamma$  – скорость изнашивания;

$t$  – период, за которой произошел данный износ.

Параметр  $t$  имеет глобальную модель абстрактной сущности и не позволяет судить об износе с высокой точностью. За один и тот же период износ может значительно отличаться, в зависимости от условий эксплуатации. Более приемлемым и точным результатом будет количественная оценка непосредственного пути торможения (путь трения при работе ТМ).

Интенсивность изнашивания  $J$  – это отношение износа  $U$  к обусловленному пути трения  $L$ , на котором он произошел (2):

$$J = \frac{U}{L}. \quad (2)$$

Удельный износ за один рабочий цикл будет находится по выражению:

$$q_U = \frac{U}{N}, \quad (3)$$

где  $q_U$  – удельный износ за 1 рабочий цикл TopC;

$U$  – линейный износ;

$N$  – количество рабочих циклов, определяется по  $K_K$ .

В работах [11, 12] рассматривалось изнашивание и прогнозирование остаточного ресурса элементов тормозного механизма, но не учитывались следующие факторы:

- режимы эксплуатации TopC;
- давление тормозной жидкости в приводе ТМ при торможении;
- дифференциальная скорость при торможении;
- время трения при торможении.

Давление в приводе, начальная скорость торможения и время трения – рассматриваются в данной работе как основные параметры, связанными с работой и кинематикой тормозного механизма. В инженерной проектно-конструкторской теории принято, что износ определяется работой сил трения в процессе относительного скольжения трущихся поверхностей пары трения. Работа тормозной системы заключается в реализации искусственно созданной силы трения пары колодка-диск.

Можно сопоставить износ ТК и ТД с элементарной работой при торможении.

Совершаемая работа тормозными механизмами будет определяться [13-15]:

$$A_i = (p_0 - \Delta p_i) B_i dS, \quad (4)$$

где  $p_0$  – давление в приводе тормозной системы;

$\Delta p_i$  – давление, необходимое для преодоления сил трения поршня соответствующего тормозного суппорта;

$dS$  – элементарное приращение пути автомобиля;

$B_i$  – комплексный параметр тормозного механизма;

$dS = v(t) \cdot dt$ , где  $v(t)$  – изменение скорости автомобиля при торможении.

Комплексный параметр будет находить из выражения:

$$B_i = \sum F_{ци} \frac{r_{трi}}{r_d} K_3 \eta, \quad (5)$$

где  $\sum F_{ци}$  – суммарная площадь тормозных цилиндров тормозного суппорта  $i$ -ой оси;

$r_{\text{тp}i}$  - средний радиус трения тормозных дисков  $i$ -ой оси;

$r_{\text{д}}$  – динамический радиус колеса;

$K_{\text{э}}$  – коэффициент эффективности тормозных механизмов, принимается равным коэффициенту трения  $\mu$ ;

$\eta$  – коэффициент полезного действия тормозного механизма.

Выдвинем предположение, что скорость при торможении изменяется по линейному закону  $v(t) = v_0 \left(1 - \frac{t}{t_{\text{тp}}}\right)$  ( $v_0$  – начальная скорость торможения,  $t_{\text{тp}}$  – время трения пары колодка-диск,  $t$  – текущий момент времени в  $t_{\text{тp}}$ ), тогда выражение (3) будет выглядеть следующим образом:

$$dA_i = (p_0 - \Delta p) B_i v_0 \left(1 - \frac{t}{t_{\text{тp}}}\right) dt, \quad (6)$$

Преобразуя полученное выражение (6), в соответствующих пределах, найдем работу, которую совершают тормозные механизмы при торможении:

$$A_i = (p_0 - \Delta p) B_i \frac{v_0 t_{\text{тp}}}{2}, \quad (7)$$

Удельная работа трения тормозных колодок тормозного механизма будет определяться из выражения:

$$\begin{cases} q_{A1} = \frac{(p_0 - \Delta p) B_1 v_0 t_{\text{тp}}}{\Sigma F_{1\text{н}}} \\ q_{A2} = \frac{(p_0 - \Delta p) B_2 v_0 t_{\text{тп}}'}{\Sigma F_{2\text{н}}} \end{cases} \quad (8)$$

где  $\Sigma F_{1\text{н}}, \Sigma F_{2\text{н}}$  – суммарная площадь передних и задних тормозных колодок.

Сопоставляя выражения (3) и (8), получим интенсивность изнашивания  $J_{qi}$  за удельную работу одного цикла:

$$\begin{cases} J_{qU1} = \frac{q_{U1}}{q_{A1}} \\ J_{qU2} = \frac{q_{U2}}{q_{A2}} \end{cases} \quad (9)$$

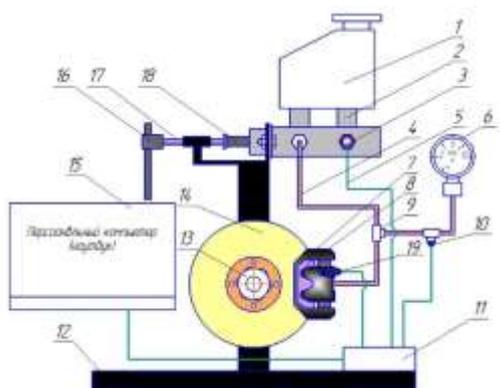
Обратной величиной интенсивности изнашивания  $J_{qi}$  будет являться энергетическая интенсивность изнашивания  $J_{qA1}$ , показывающая необходимое значение удельной работы для совершения износа за один рабочий цикл:

$$\begin{cases} J_{qA1} = \frac{q_{A1}}{q_{U1}} \\ J_{qA2} = \frac{q_{A2}}{q_{U2}} \end{cases} \quad (10)$$

Для оценки интенсивности изнашивания была разработана система сбора данных (ССД) работы TopC. Для обеспечения и проверки функционирования ССД собран лабораторный тормозной стенд (рис. 1). На данную установку поданы заявки в Роспатент на получение свидетельств права интеллектуальной собственности.

На рассмотренном выше стенде проводилась работа по планированию и монтажу датчиков давления, корректировка программного кода, написанного в программной среде Arduino, тарировки датчиков давления и компиляция работы микропроцессора, аналого-цифровых преобразователей и других электронных компонентов. После завершения испытания ССД, было выполнено интегрирование системы на автомобиль *Kia C'eed*, оборудованный задними дисковыми тормозными механизмами, антиблокировочной системой (АБС) и разными электронными помощниками для повышения безопасности движения. Техническое состояние тормозной системы было приведено в соответствии с требованиями, указанными в [1, 2, 16, 17].

Основной задачей ССД было сохранение информации о значениях параметров при торможении: давлении тормозной жидкости при торможении ( $P$ ), времени нажатия на педаль тормоза ( $t$ ), изменение скорости движения автомобиля ( $v$ ) за рабочий цикл TopC. После интегрирования ССД, был осуществлен контроль структурных параметров ТК и ТД. Результаты контроля параметров представлены в таблице 3.



**Рисунок 1 – Лабораторный тормозной стенд:** 1 – бачок с тормозной жидкостью, 2 – главный тормозной цилиндр (ГТЦ), 3, 10, 19 – датчики давления, 4 – гидравлический привод ТорС, 5 – информационная магистраль датчиков, 6 – механический манометр, 7 – тормозная колодка, 8 – тормозной суппорт, 9 – тройник гидравлического привода, 11 – блок тормозной системы (БТС), 12 – металлическое основание стенда, 13 – ось вращения, 14 – тормозной диска, 15 – монитор для вывода информации, 16 – механическая рукоятка, 17 – регулируемая ось, 18 – шток главного тормозного цилиндра.

Проведение эксперимента осуществлялось с учетом рекомендаций работы [6]. Обобщенной характеристикой параметров торможения был выбран параметр  $N$  – количество срабатываний ТорС. При торможении за период времени  $\Delta t$  давление в тормозном приводе может изменяться, тогда принимаем среднее математическое значение  $P_{cp}$ . Считывание значений с датчиков системой осуществлялось с заданной частотой 5 Гц (200 мс или 5 раз в секунду). Сводные параметры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Описательные статистики экспериментальных данных торможений

	Время торможения $t$ , с	Время трения $t_{тр}$ , с	Скорость начала торможения $v_0$ , км/ч	Скорость конца торможения $v_k$ , км/ч	Путь трения $S$ , м	Среднее давление, $P_{cp}$ атм	Удельная работа передней оси $q_{A1}$ , кДж/см <sup>2</sup>	Удельная работа задней оси $q_{A2}$ , кДж/см <sup>2</sup>
Количество	684	684	684	684	684	684	684	684
Среднее	6,5	2,74	21,93	11,74	15,47	15,3	0,011	0,004
Min	0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,0	0	0
Max	60,0	18,80	80,00	74,00	235,60	58,0	0,287	0,096

Из таблицы 2 видно, что время торможения и время трения значительно различаются. Для точности оценки износных явлений в расчете целесообразно применять время трения. Расчет значений толщины передних и задних элементов ТорС ведется отдельно в соответствии с их удельной работой ( $q_{A1}$  и  $q_{A2}$ ).

В зависимости от интенсивности эксплуатации значения удельной работы трения тормозных колодок и дисков в межсервисный период наработки будет определяться с учетом интенсивности эксплуатации по выражению:

$$\begin{cases} q_{A1}^{МСИ} = q_{A1} \cdot L_{ТО} \cdot K_K \\ q_{A2}^{МСИ} = q_{A2} \cdot L_{ТО} \cdot K_K' \end{cases} \quad (11)$$

где  $L_{ТО}$  – межсервисный интервал технического обслуживания.

Для определения остаточной удельной работы, необходимой чтобы совершить износ до предельных значений толщин ТД и ТК, следует произвести умножение энергетической интенсивности изнашивания на остаточную толщину элемента тормозной системы. Такое уравнение запишется в виде:

$$\begin{cases} q_{A1}^{OCT} = J_{qA1} \cdot (Y_{\phi 1} - Y_{пред1}) \\ q_{A2}^{OCT} = J_{qA2} \cdot (Y_{\phi 2} - Y_{пред2}) \end{cases} \quad (12)$$

где  $Y_{\phi}$  – фактическое значение структурного параметра;

$Y_{пред}$  – предельное значение структурного параметра.

Основываясь на аспектах теории надежности поучим энергетическое условие прогнозирования остаточного ресурса толщины элементов ТорС по значению удельных работ:

$$q_{Ai}^{ост} > q_{Ai}^{мси} \quad (13)$$

По результатам таблицы 1 при  $K_K = 5,33$ , количество рабочих циклов ТорС будет составлять  $N = 81139$ . Результаты расчета изнашивания с учетом энергетического анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения структурных параметров ТК и ТД

Параметр	Элементы ТорС			
	Передняя ось		Задняя ось	
	Колодки	Диски	Колодки	Диски
Наработка, $L$ тыс. км	15,237			
Количество рабочих циклов, $N$	81139			
Коэф-т Кокарева, $K_K$	5,33			
Предельное значение $Y_{пред}$ (мм)	8	20	7	8,4
Номинальное значение $Y_{ном}$ (мм),	16	22,43	13,15	10,01
Фактическое значение $Y_{ф}$ (мм)	12,86	22,13	11,63	9,78
Фактический износ (мм)	3,14	0,3	1,52	0,23
Комплексный параметр $B_i$ , $см^2$	8,3	8,3	2,1	2,1
Износ за рабочий цикл, $q_U$ , мм/цикл	0,0000387	0,0000037	0,0000187	0,0000028
Удельная работа трения за цикл $q_A$ , кДж/см <sup>2</sup>	0,011	0,004	0,004	0,015
Интенсивность работы трения $J_{qui}$ , мм/(кДж/см <sup>2</sup> )	0,003426	0,000987	0,005001	0,000188
Энергетическая интенсивность изнашивания $J_{qA1}$ , (кДж/см <sup>2</sup> )/мм	291,91	1013,05	199,94	5306,60

По полученным данным выведем итоговую таблицу с прогнозированием остаточного ресурса тормозных колодок и дисков, способных выполнить определенную работу за межсервисный период наработки в зависимости от условий эксплуатации [18-20].

В процессе эксперимента выявилась потребность в дополнительной классификации условий движения. Рекомендованы следующие условия движения автомобилей: I. Поездки выходного дня за город; II. Работа – дом – загород; III. Работа – дом; IV. Такси, курьерские службы и пр.

Таблица 4 – Результаты расчета с учетом данных таблицы 3

№ п/п	Режим движения	Интенсивность эксплуатации по $K_K$								
		1,53	2,17	2,80	3,43	4,07	4,70	5,33	5,97	6,60
1.	Условия движения	I. Поездки выходного дня за город		II. Работа – дом - загород		III. Работа – дом		IV. Такси, курьерские службы и пр.		
2.	Удельная работа передних ТК, $q_{A1}^{мси}$	259	368	474	581	690	796	903	1012	1118
3.	Остаточная удельная работа передних ТК, $q_{A1}^{cot}$	1419								
4.	Удельная работа задних ТК, $q_{A2}^{мси}$	86	122	157	193	229	264	299	335	371
5.	Остаточная удельная работа задних ТК, $q_{A2}^{мси}$	926								
6.	Удельная работа передних ТД, $q_{A1}^{мси}$	86	122	157	193	229	264	299	335	371
7.	Остаточная удельная работа передних ТД, $q_{A1}^{cot}$	2158								
8.	Удельная работа задних ТД, $q_{A2}^{мси}$	345	490	632	774	918	1060	1203	1347	1489
9.	Остаточная удельная работа задних ТД, $q_{A2}^{cot}$	7323								

По данным таблице 4 можно судить, что условие (13) выполняется и структурный параметр по толщине обеспечит надежность ТорС в межсервисный период 15 тыс. км в установленных режимах эксплуатации по  $K_K$  и условиях движения

Результаты исследования позволяют выполнить оценку работоспособности элементов ТорС в выбранных режимах и условиях эксплуатации. Прогнозирование остаточного ресурса

ТК и ТД позволит повысить эффективность технической эксплуатации автомобилей в целом за счет более полного использования ресурса элементов TopC.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение о техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств, принадлежащих гражданам (легковые и грузовые автомобили, автобусы, минитрактора): Руководящий документ РД 37.009.026-92 (утв. приказом по Департаменту автомобильной промышленности Минпрома РФ от 1 ноября 1992 г. №43).
2. О Правилах дорожного движения (вместе с «Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения»): Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 №1090 (ред. от 04.12.2018).
3. Техническая документация KIA. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.kia.ru/service/download/>.
4. Кириллов А.Г., Смирнов Д.Н., Кокарев О.П. Исследование надежности механизмов тормозных систем автомобилей // Информационные технологии и инновации на транспорте: 5-ая Международная научно-практическая конференция. – 2019. - Орел.
5. Баженов Ю.В., Денисов И.В. Исследование безотказности рабочей тормозной системы автомобилей ВАЗ-21703 // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - №6. - С. 39.
6. Кокарев О.П., Кириллов А.Г., Нуждин Р.В. Исследование влияния режимов работы тормозных механизмов на надежность элементов тормозной системы // Техничко-технологические проблемы сервиса. - №1(59). – 2022. - Санкт-Петербург.
7. Nazarov I. Evaluation of results of road research of lanos car, equipped with fn advanced hydraulic brake drive // Автомобильный транспорт. - Харьков. - 2016. -№39. - С. 101-108.
8. Болдин А.П., Максимов В.А. Основы научных исследований: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. - М.: Издательский центр «Академия». - 2012. – С. 57.
9. Баженов Ю.В., Баженов М.Ю. Основы надежности и работоспособности технических систем: учеб. пособие. – Владимир: ВлГУ, 2017. – 267 с.
10. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учеб. для вузов. – М.: Магистр-Пресс, 2005. – 536 с.
11. Кокарев О.П., Цыганков А.Д., Новожилов Д.А. Обзор датчиков определения предельного износа тормозной колодки // Электронный сборник статей по материалам LXXVIII студенческой международной научно-практической конференции. - №6(77). – Новосибирск. - 2019.
12. Кириллов А.Г., Ратников А.С., Кокарев О.П. Методика оперативного прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы // Вестник гражданских инженеров. – 2020. - №1(78). - Санкт-Петербург.
13. Аракелян И.С. Повышение тормозных свойств спортивных автомобилей с учетом условий эксплуатации: Дис. ... канд. техн. наук. - Владимир, 2003. - 193 с.
14. Соцков Д.А. Повышение активной безопасности автотранспортных средств при торможении: Дис. ... д-ра техн. наук. - Владимир, 1988. – С. 547.
15. Колесник П.А., Кланица В.С. Материаловедение на автомобильном транспорте. - М.: Академия. - 2012. - 320 с.
16. ГОСТ 33997-2016. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки.
17. Технический регламент таможенного союза. ТР ТС 018/2011. О безопасности колесных транспортных средств.
18. Герасимов А.В. Методы идентификации и оперативного прогнозирования состояния агрегатов автомобиля для автоматизированной бортовой системы управления: Дис. ... канд. техн. наук. - Москва, 2014. - 116 с.
19. Русаков В.З. Безопасность автотранспортных средств в эксплуатации: Дис. ... д-ра техн. наук. - Москва, 2004. - 360 с.
20. Топалиди В.А. Повышение эффективности эксплуатационного контроля тормозных свойств и систем АТС // Автомобильная промышленность. – 2008. – №3. – С. 25-27.

### **Кокарев Олег Петрович**

Владимирский государственный университет  
Адрес: 600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького, 87  
Соискатель, заведующий лабораториями  
E-mail: angelok778@mail.ru

### **Нуждин Роман Владимирович**

Владимирский государственный университет  
Адрес: 600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького 87  
К.т.н., доцент  
E-mail: srmostu@mail.ru

### **Кириллов Александр Геннадьевич**

Владимирский государственный университет  
Адрес: 600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького 87  
К.т.н., доцент  
E-mail: cdo\_atf\_vlsu@mail.ru

O.P. KOKAREV, A.G. KIRILLOV, R.V. NUZHIDIN

## **EVALUATION OF THE RESOURCE OF THE BRAKE SYSTEM ELEMENTS**

**Abstract.** In this article, the influence of parameters during braking on the resource of the elements of the braking system, the operating conditions and the movement of cars are considered. A study was conducted to obtain the considered parameters in real operating conditions. A mathematical model has been developed for estimating and predicting the residual resource through the specific friction of braking mechanisms, taking into account operating conditions. The results obtained have practical application in maintenance to ensure the performance of the braking system with the correlation of the economic factor.

**Keywords:** braking system, operating conditions, specific friction work, wear rate, energy intensity of wear

## BIBLIOGRAPHY

1. Polozhenie o tekhnicheskoy obsluzhivaniy i remonte avtotransportnykh sredstv, prinaldezhashchikh grazhdanam (legkovyye i gruzovyye avtomobili, avtobusy, minitraktora): Rukovodyashchiy dokument RD 37.009.026-92 (utv. prikazom po Departamentu avtomobil'noy promyshlennosti Minproma RF ot 1 noyabrya 1992 g. №43).
2. O Pravilakh dorozhnogo dvizheniya (vmeste s «Osnovnymi polozheniyami po dopusku transportnykh sredstv k ekspluatatsii i obyazannosti dolzhnostnykh lits po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya»): Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 23.10.1993 №1090 (red. ot 04.12.2018).
3. Tekhnicheskaya dokumentatsiya KIA. [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.kia.ru/service/download/>.
4. Kirillov A.G., Smirnov D.N., Kokarev O.P. Issledovanie nadezhnosti mekhanizmov tormoznykh sistem avtomobiley // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: 5-aya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. - 2019. - Orel.
5. Bazhenov Yu.V., Denisov I.V. Issledovanie bezotkaznosti rabochey tormoznoy sistemy avtomobiley VAZ-21703 // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. - 2013. - №6. - S. 39.
6. Kokarev O.P., Kirillov A.G., Nuzhdin R.V. Issledovanie vliyaniya rezhimov raboty tormoznykh mekhanizmov na nadezhnost' elementov tormoznoy sistemy // Tekhniko-tekhnologicheskyye problemy servisa. - №1(59). - 2022. - Sankt-Peterburg.
7. Nazarov I. Evaluation of results of road research of a car, equipped with an advanced hydraulic brake drive // Avtomobil'nyy transport. - Har'kov. - 2016. - №39. - S. 101-108.
8. Boldin A.P., Maksimov V.A. Osnovy nauchnykh issledovaniy: uchebnyy dlya stud. uchrezhdeniy vyssh. prof. obrazovaniya. - M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya». - 2012. - S. 57.
9. Bazhenov Yu.V., Bazhenov M.Yu. Osnovy nadezhnosti i rabotosposobnosti tekhnicheskikh sistem: ucheb. posobie. - Vladimir: VIGU, 2017. - 267 s.
10. Zorin V.A. Osnovy rabotosposobnosti tekhnicheskikh sistem: ucheb. dlya vuzov. - M.: Magistr-Press, 2005. - 536 s.
11. Kokarev O.P., Tsigankov A.D., Novozhilov D.A. Obzor datchikov opredeleniya predelnogo iznosa tormoznoy kolodki // Elektronnyy sbornik statey po materialam LXXVIII studencheskoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - №6(77). - Novosibirsk. - 2019.
12. Kirillov A.G., Ratnikov A.S., Kokarev O.P. Metodika operativnogo prognozirovaniya ostatochnogo resursa elementov tormoznoy sistemy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2020. - №1(78). - Sankt-Peterburg.
13. Arakelyan I.S. Povyshenie tormoznykh svoystv sportivnykh avtomobiley s uchetom usloviy ekspluatatsii: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Vladimir, 2003. - 193 s.
14. Sotskov D.A. Povyshenie aktivnoy bezopasnosti avtotransportnykh sredstv pri tormozhenii: Dis. ... d-ra tekhn. nauk. - Vladimir, 1988. - S. 547.
15. Kolesnik P.A., Klanitsa V.S. Materialovedenie na avtomobil'nom transporte. - M.: Akademiya. - 2012. - 320 s.
16. GOST 33997-2016. Kolesnyye transportnyye sredstva. Trebovaniya k bezopasnosti v ekspluatatsii i metody proverki.
17. Tekhnicheskyy reglament tamozhennogo soyuza. TR TS 018/2011. O bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv.
18. Gerasimov A.V. Metody identifikatsii i operativnogo prognozirovaniya sostoyaniya agregatov avtomobilya dlya avtomatizirovannoy bortovoy sistemy upravleniya: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Moskva, 2014. - 116 s.
19. Rusakov V.Z. Bezopasnost' avtotransportnykh sredstv v ekspluatatsii: Dis. ... d-ra tekhn. nauk. - Moskva, 2004. - 360 s.
20. Topalidi V.A. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsionnogo kontrolya tormoznykh svoystv i sistem ATS // Avtomobil'naya promyshlennost'. - 2008. - №3. - S. 25-27.

**Kokarev Oleg Petrovich**

Vladimir State University  
Address: 600000, Russia, Vladimir, Gorky str., 87  
Applicant, head of laboratories  
E-mail: angelok778@mail.ru

**Nugdin Roman Vladimirovich**

Vladimir State University  
Address: 600000, Russia, Vladimir, Gorky str., 87  
Candidate of technical sciences  
E-mail: srmostu@mail.ru

**Kirillov Alexander Gennadievich**

Vladimir State University  
Address: 600000, Russia, Vladimir, Gorky str., 87  
Candidate of technical sciences  
E-mail: cdo\_atf\_vlsu@mail.ru

Научная статья

УДК 62-405

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-23-30

А.И. ГОРШКОВ, Е.Н. ГРИБАНОВ, О.Ю. КОНОПЕЛЬКО, Н.А. КУЗНЕЦОВА

## ПРИРОДА И МОРФОЛОГИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНЕ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

***Аннотация.** В работе получены защитные покрытия на титане электрохимическим методом с использованием электролитов на основе этиленгликоля, глицерина, фторида аммония и силиката натрия. Морфология поверхности изучена металлографическим методом и методом сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), природа полученных покрытий доказана методами инфракрасной спектроскопии (ИК-) и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР-). Морфология поверхности исходного образца представляет собой множество борозд (расстояние 10-140 мкм по данным СЗМ и металлографии). После электрохимической обработки морфология поверхности изменилась – сформировалась система пор размером до 30 нм для электролита на основе глицерина и развитая аморфная поверхность, состоящая из глобул, пор размером 500 нм и 250 нм для электролитов на основе этиленгликоля и фторида аммония соответственно. После электролиза в растворах силиката натрия формируется покрытие элементами которого являются глобулы размером от 40 до 200 нм, объединенных в вытянутые. Анализ ИК- и КР- спектров показал образование пленки оксида титана (модификации рутил) и титаносиликата (типа титанит).*

***Ключевые слова:** титан, защитные покрытия, электрохимическое оксидирование, оксид титана, титаносиликат, защитные покрытия*

### **Введение**

Титан – металл, обладающий высокой механической прочностью, жаростойкостью, легкостью, что обуславливает его широкое применение в различных отраслях промышленности, например авиа-, ракетно- и кораблестроение, для создания различных конструкций [1, 2]. Из титана могут быть изготовлены шасси и крылья самолетов, баки для хранения топлива, обшивка корпусов, двигатели, гребные винты и т.д. [3-5]. Важными требованиями к деталям сложных машин являются их высокая прочность во всем интервале температур, термическая стабильность, низкая вязкость и пластичность, а также высокое сопротивление усталости и ползучести [6, 7]. Титан и его сплавы не в полной мере соответствуют данным параметрам, так как подвержены коррозии и износу из-за наличия царапин и других повреждений. Одним из способов решения данной проблемы является нанесение на поверхность титана защитных покрытий. Такие покрытия увеличат срок службы изделий и уменьшат необходимость в их замене или ремонте.

Существует ряд методов нанесения защитных покрытий, например легирование, магнетронное распыление, лазерная обработка, струйно-абразивная обработка, холодная и горячая прокатка, химическое осаждение [8-12]. Недостатками данных методов являются трудность в контроле механических свойств обрабатываемого материала, понижение прочности и коррозионной стойкости изделия, отслоение защитного покрытия от материала, ухудшение параметров поверхности. Одним из перспективных способов улучшения свойств титана является модификация его поверхности электрохимическим методом [13-15]. Данный метод позволяет повысить механическую прочность, износостойкость, термическую стойкость, а также антифрикционные и коррозионные свойства за счет образования защитного покрытия на поверхности титана [16].

В настоящей работе показана возможность получения электрохимическим методом защитных покрытий на поверхности титана, изучена морфология их поверхности.

### **Материал и методы**

В качестве подложки использовались образцы титанового сплава Grade 23 (образец №1). На начальном этапе работы проводили предварительную подготовку образцов путем их шлифования пастой ГОИ №2.

Электрохимическую реакцию проводили в двухэлектродной ячейке, подключенной к источнику питания GW Instek GPS-73303. Показания при электролизе снимали Мультиметром APPA 208В.

Для получения покрытия на основе оксида титана использовали следующие электролиты [17-20]: 1)  $\text{NH}_4\text{F}$  – 1,5 %,  $\text{H}_2\text{O}$  – 4 %,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$  – 94,5 % (образец №2) 2)  $\text{NH}_4\text{F}$  – 1,5 %,  $\text{H}_2\text{O}$  – 4 %,  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  – 94,5 % (образец №3); 3)  $\text{NH}_4\text{F}$  – 3 %,  $\text{H}_2\text{O}$  – 97 % (образец №4).

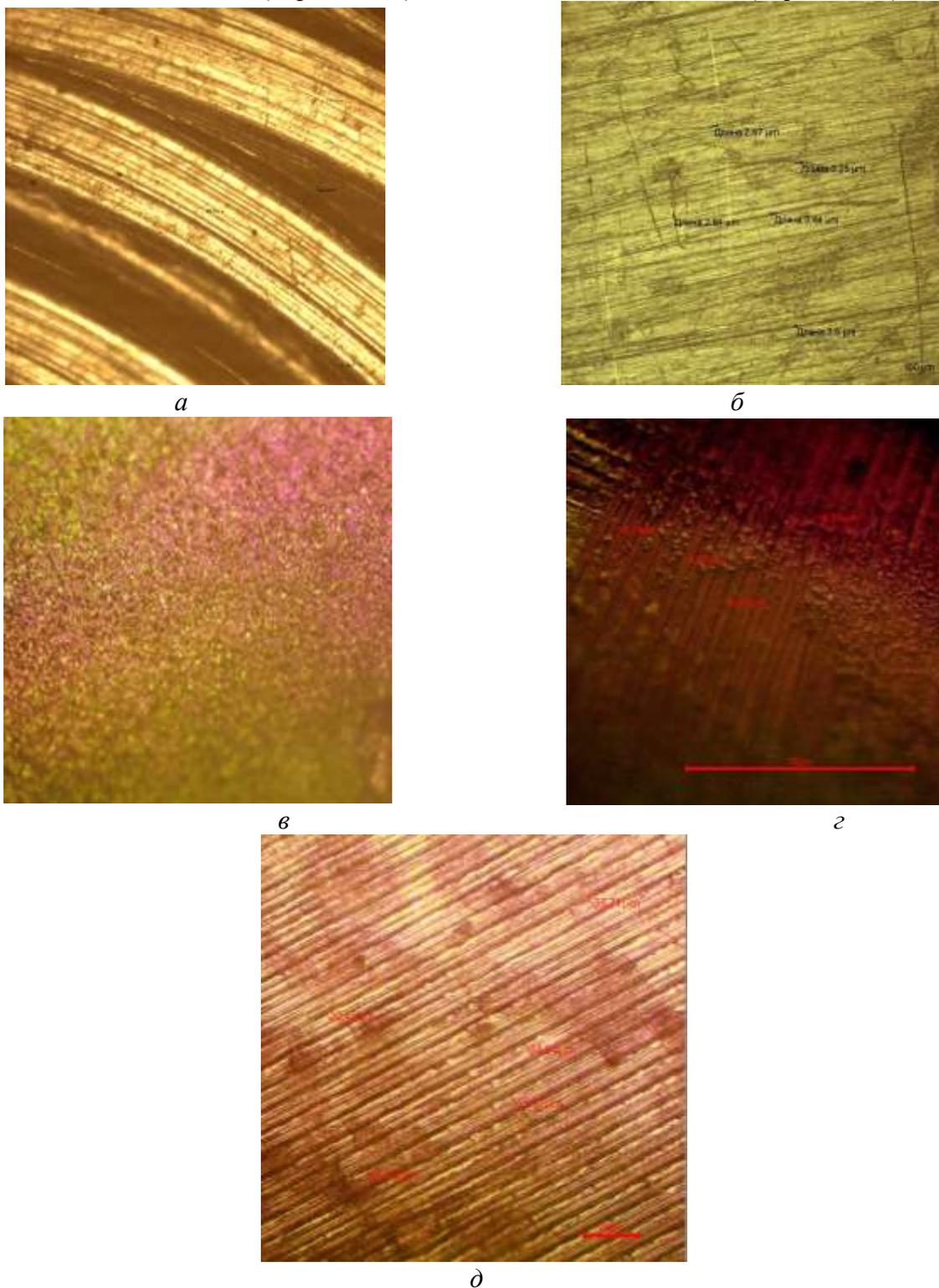


Рисунок 1 - Металлографическое изображение поверхности титана до (а) и после (б) шлифовки, анодирования в  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$  (в),  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  (z) и  $\text{NH}_4\text{F}$  (д)

Покрытие на основе титаносиликата получали электрохимическим методом в электролите на основе силиката натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) и гидроксида натрия ( $\text{NaOH}$ ) (образец №5).

Для подтверждения природы покрытий были получены ИК- (ИК-Фурье спектрометр IROS 05) и КР- (Sol Instruments, Confotec UNO) спектры.

Изучение морфологии поверхности образцов проводили методами атомно-силовой микроскопии (микроскоп SMM 2000) и металлографии (микроскоп Альтами МЕТ 1Д).

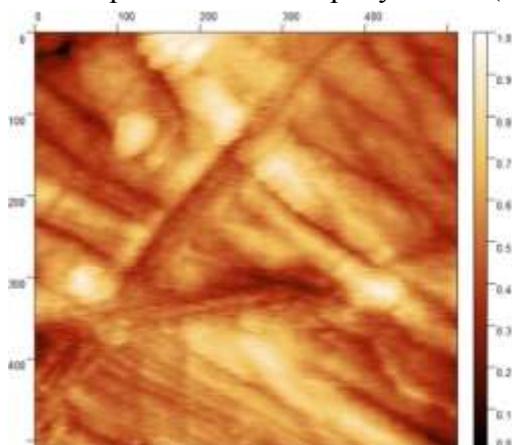
**Теория**

По данным металлографии (рис. 1 а, б) и СЗМ (рис. 2 а) структура поверхности исходных образцов представляет собой множество борозд. Расстояние между бороздами образца, не подвергнутого шлифовке, составило от 10 до 140 мкм. После шлифовки заметна более однородная поверхность, что связано с отсутствием борозд. На образцах обнаружены включения овальной формы, размеры которых колеблются от 6 до 22 мкм. Размер характерных элементов поверхности и её шероховатость представлены в таблице 1.

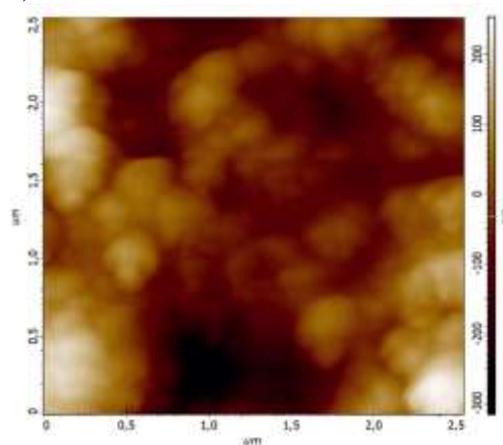
Таблица 1 - Размер характерных элементов и параметры поверхности

№ образца	Размер пор, нм	Размер глобул, нм	Шероховатость, нм
1	–	–	5,7
2	60 – 500	75 – 500	24,3
3	3 – 32	15 – 43	5,9
4	57 –288	39 – 210	27,2
5	–	40 –200	94,6

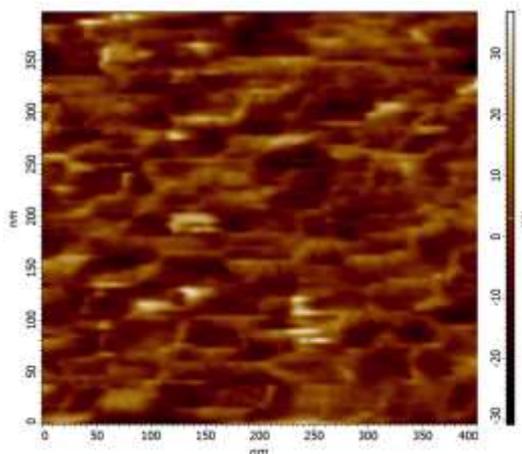
Типичные металлографические и СЗМ изображения поверхности титана после оксидирования представлены на рисунках 1 (в-д) и 2 (б-д).



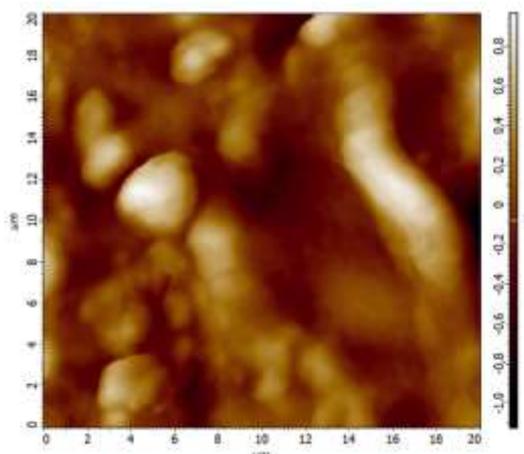
а



б



в



д

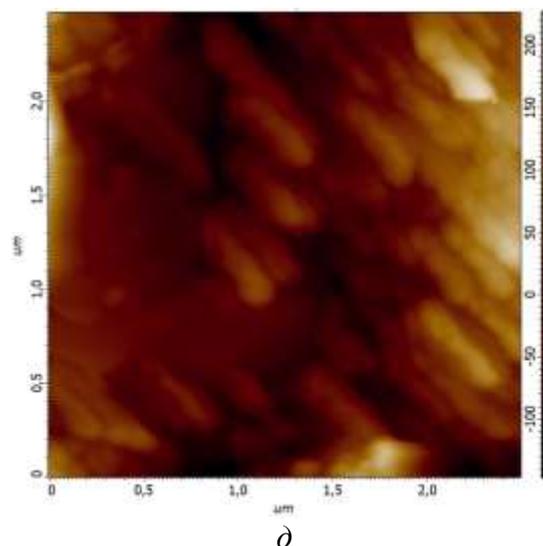


Рисунок 2 - СЗМ-изображение поверхности титана исходного образца (а), после анодирования в  $C_2H_6O_2$  (б),  $C_3H_8O_3$  (в),  $NH_4F$  (г) и  $Na_2SiO_3$  (д)

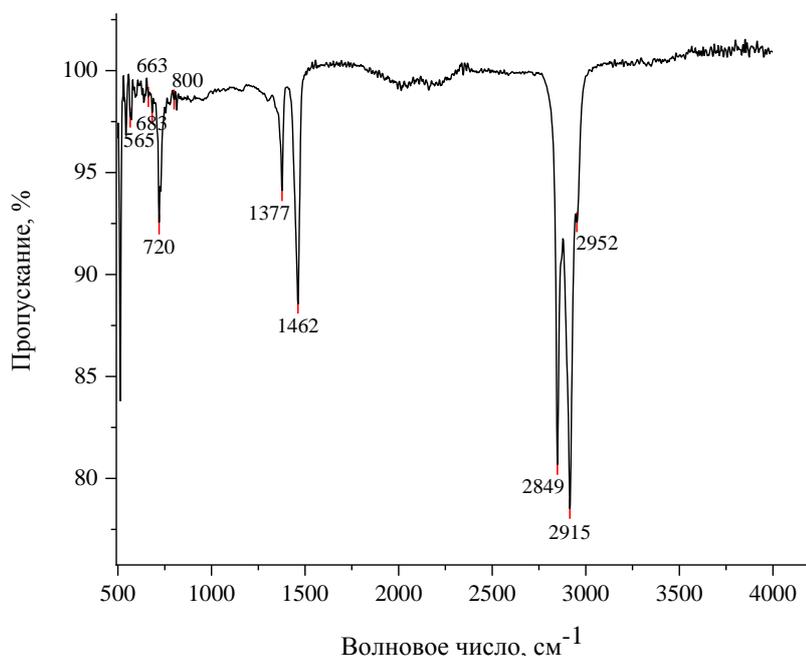


Рисунок 3 - ИК-спектр пленки  $TiO_2$

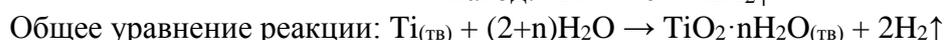
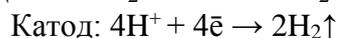
Анодирование привело к значительному изменению поверхности, то есть сформировалась относительно упорядоченная система пор размером до 30 нм для электролита на основе глицерина и развитая аморфная поверхность, состоящая из глобул и пор для электролитов на основе этиленгликоля и фторида аммония.

По данным ИК-спектроскопии (рис. 3), полученного покрытия, полосы при  $565-663\text{ см}^{-1}$  обусловлены колебаниями связи  $Ti-O$ . Полосы при  $600-700\text{ см}^{-1}$  говорят о наличии полиэдров  $TiO_6$ , соединенных ребрами, а при  $683-800\text{ см}^{-1}$  – о полиэдрах  $TiO_4$ , соединенных вер-

шинами. Данные полосы показывают образование  $TiO_2$  модификации рутила.

На рисунке 4 представлен КР-спектр пленки  $TiO_2$ . В КР-спектре обнаружены полосы с высокой интенсивностью на частотах  $253\text{ см}^{-1}$ ,  $410\text{ см}^{-1}$  и  $603\text{ см}^{-1}$ . Эти полосы являются характерными для рутила, который является одной из модификаций диоксида титана.

Вероятный химизм формирования пленки оксида титана можно описать следующими реакциями:



**Результаты и обсуждение**

Из таблицы видно, что в ряду глицерин – этиленгликоль – фторид аммония, то есть при переходе от более вязкого к менее вязкому электролиту шероховатость увеличивается.

Также на рисунке 2 д представлено СЗМ-изображение поверхности титана после формирования на ней титаносиликата. Из рисунка видно, что на поверхности присутствуют глобулы размером от 40 до 200 нм, которые объединяются в вытянутые образования. Сделано предположение о том, что данные образования получаются наслаиванием слоев – высота каждого слоя составила 59 нм, что соответствует 25 ячейкам титанита (вида титаносиликата). Шероховатость, характеризующие поверхность титанита, представлены в таблице 3.

На рисунке 5 представлен характер зависимости плотности тока от времени электролиза при напряжении 30 В. Обнаружено, что при данном напряжении на поверхности титанового импланта происходит образование пленки. Из рисунка можно сделать вывод, что плотность тока имеет минимум, затем возрастает до максимального значения и после этого уменьшается по экспоненциальному закону. Одной из особенностей этого процесса является резкое падение плотности тока в начале электролиза. Это объясняется изменением проводимости на поверхности анода из-за увеличения сопротивления слоя титаносиликата, который формируется на ней.

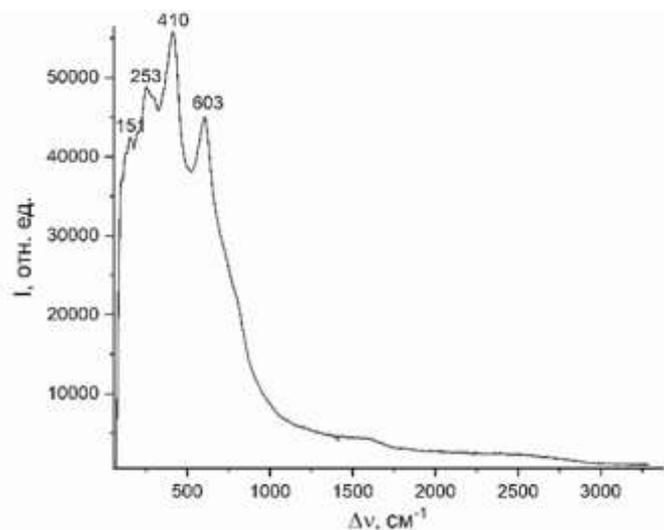


Рисунок 4 - Типичный КР-спектр пленки TiO<sub>2</sub>

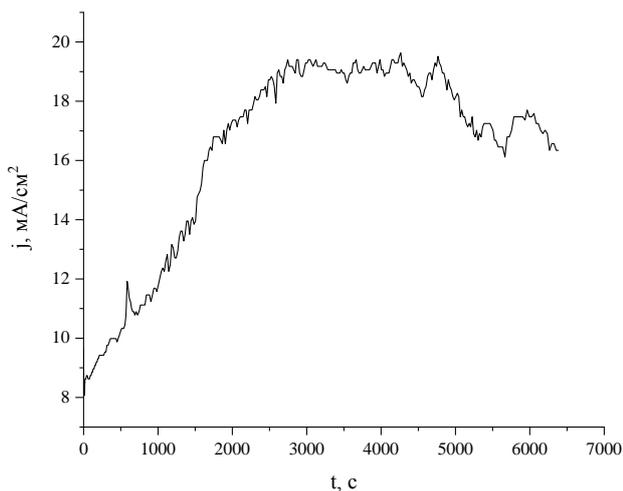


Рисунок 5 - Зависимость плотности тока от времени электролиза

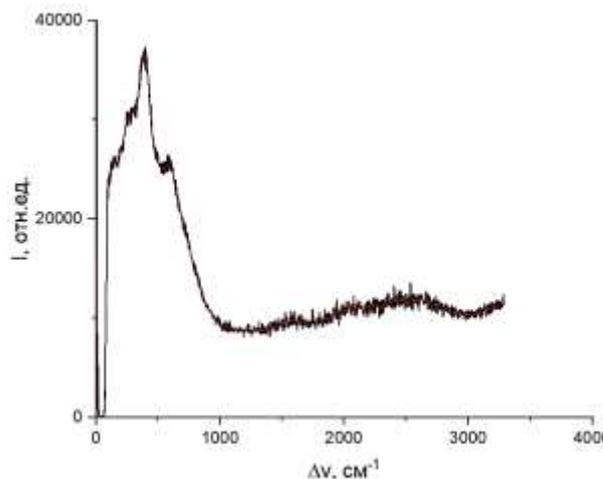
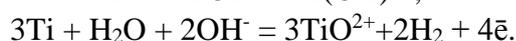
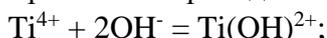
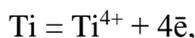


Рисунок 6 - Типичный КР-спектр титаносиликата

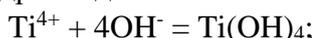
Можно предложить следующий химизм формирования пленки титаносиликата. Травление титановой подложки в водных растворах NaOH приводит к образованию Ti(OH)<sup>2+</sup> и TiO<sup>2+</sup>:

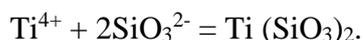


В результате анодного растворения титана происходит высвобождение катионов металла в электролит:

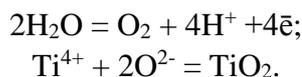


где они могут вступить в реакцию с гидроксид или силикат ионами:

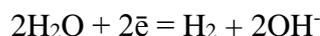




В результате окисления воды происходит выделение кислорода, который ионизируется с образованием анионов  $\text{O}^{2-}$ , мигрирующих к аноду, реагируя с катионами титана с образованием оксида титана:



На катоде происходит осаждение металла и выделение водорода:



Природа полученного покрытия доказана методом КР- спектроскопии (рис. 6). По данным КР- спектроскопии полосы при  $408 \text{ см}^{-1}$  и  $595 \text{ см}^{-1}$  обусловлены симметричными валентными и частично деформационными колебаниями связей Si–O–Si и O–Ti–O. Также на основе литературных данных сделали предположение об образовании титаносиликата со структурой близкой к типу титанита.

### **Выводы**

На титановом сплаве Grade 23 получены оксидное и титаносиликатное покрытия электрохимическим методом. Установлено, что использование электролитов на основе фторида аммония и силиката натрия приводит к образованию покрытий, обладающих высокой пористостью, по сравнению с электролитами на основе этиленгликоля и глицерина. Полученные данные представляют интерес при получении защитных покрытий на деталях из титана.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Крохина В.А. Высокопрочные конструкционные титановые сплавы и их применение в авиационной промышленности // Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – М.: ООО «КванторФорм». - 2015.
2. Zhevtun I., Gordienko P., Kulchin Y. etc. Influence of Titanium Surface Porosity on Adhesive Strength of Coatings Containing Calcium Silicate // Materials. - 2020. - V. 13. - №20. – P. 13.
3. Antunes, Renato Altobelli et al. Materials Selection of Optimized Titanium Alloys for Aircraft Applications // Materials Research. - 2018. - V. 21. - №2. - P. 9.
4. Кудрявцев А.С., Карасёв Э.А., Молчанова Н.Ф. Титан для гражданского судостроения // Технология легких сплавов. - 2010. - №1. - С. 85-91.
5. Моисеев В.Н. Титан в России // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2005. - №8. – С. 18.
6. Илларионов А.Г., Попов А.А. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие. – Екатеринбург: Урал. ун-т, 2014. - 137 с.
7. Hołyńska M., Tighe A., Semprinoschnig C. Coatings and thin films for spacecraft thermo-optical and related functional applications // Advanced Materials Interfaces. - 2018. - V. 5. - №11. - P. 20.
8. Лыньков Л.М., Молодечкина Т.В., Богуш В.А., Борботько Т.В. Легированные оксиды титана и циркония в технологии формирования защитных покрытий // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. - 2004. - №3. - С.73-84.
9. Шумейко В.П., Горячев Е.А. Исследование параметров холодной прокатки ультрамелкозернистого титана // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgy. - 2016. - Т. 16. - №3. - С. 104-110.
10. Уткин К.Э., Торгашин С.И., Хошев А.В. Управляемый синтез тонких пленок, полученных методом магнетронного распыления // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. - №2(24). - С. 41-46.
11. Гнеденков С.В., Синебрюхов С.Л., Хрисанфова О.А. и др. Антифрикционные свойства покрытий, полученных методом микродугового оксидирования на титане // Исследовано в России. – 2002. - Т.5. - С. 376-387.
12. Молодечкина Т.В., Васюков А.В., Борская А.В., Молодечкин М.О. Особенности формирования толстопокрытых покрытий на основе диоксида титана // Новые материалы и технологии в машиностроении. - №7. - 2007. - С. 125-127.
13. Сибилеева С.В., Козлова Л.С. Обзор технологий получения покрытий на титановых сплавах плазменным электролитическим оксидированием // Авиационные материалы и технологии. – 2016. - №S2 (44). - С. 3-10.
14. Петухов Д.И., Валеев Р.Г., Решетников С.М. Пористые анодные оксиды алюминия и титана: структура, свойства, синтез: учебное пособие. – Ижевск: Удмуртский университет, 2018. - 122 с.

15. Ашуркевич К.В., Николаенко И.А., Борисенко В.Е. Формирование и свойства фотокаталитически толстых пленок с диоксидом титана // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. - 2012. - №6. - С. 50-55.

16. Гнеденков С.В., Сидорова М.В., Синебрюхов С.Л. и др. Структура и свойства покрытий, полученных методом плазменного электролитического оксидирования на авиационных магниевых сплавах // Авиационные материалы и технологии. - 2013. - №S2. - С. 36-45.

17. Денисенко А.В., Морозов А.Н., Михайличенко А.И. Получение наноструктурированного диоксида титана методом анодирования титана во фторидсодержащих растворах электролитов на основе этиленгликоля, формамида и глицирина // Успехи в химии и химической технологии. - 2017. - Т. XXXI. - №6. - С. 96-98.

18. Денисенко А.В., Морозов А.Н., Михайличенко А.И. Получение покрытий из нанотрубок TiO<sub>2</sub> методом анодирования титана в электролитах на основе этиленгликоля с различным содержанием воды // Успехи в химии и химической технологии. - 2015. - Т. XXIX. - №3. - С. 71-73.

19. Синяков М.В., Засыпкина А.А., Тишкин В.В. и др. Наноструктурные покрытия на основе титана для электродов электрохимических устройств с твердым полимерным электролитом // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. - 2023. - Т. 78. - №2. - С.2320501(1)-2320501(8).

20. Марьева Е.А., Попова О.В. Электрохимическое модифицирование титана в водно-органических электролитах: монография. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2016. - 151 с.

**Горшков Александр Игоревич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95  
Старший преподаватель  
E-mail: gorshkov.a.i@yandex.ru

**Грибанов Евгений Николаевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95  
К.х.н., доцент, зав. кафедрой химии  
E-mail: gribanoven@gmail.com

**Конопелько Оксана Юрьевна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95  
Студент  
E-mail: oksanka2001kono@yandex.ru

**Кузнецова Надежда Александровна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95  
Студент  
E-mail: nadak0190@gmail.com

---

A.I. GORSHKOV, E.N. GRIBANOV, O.YU. KONOPELKO, N.A. KUZNETSOVA

## NATURE AND MORPHOLOGY OF PROTECTIVE COATINGS ON TITANIUM PRODUCED BY THE ELECTROCHEMICAL METHOD

**Abstract.** *In the paper, protective coatings on titanium were obtained by an electrochemical method using electrolytes based on ethylene glycol, glycerin, ammonium fluoride, and sodium silicate. The surface morphology was studied by metallographic and scanning probe microscopy (SPM), the nature of the coatings obtained was proved by infrared spectroscopy (IR-) and Raman spectroscopy (RS-). The surface morphology of the original sample is a set of grooves (distance 10-140 μm according to SPM and metallography). After electrochemical treatment, the surface morphology changed: a system of pores up to 30 nm in size was formed for the electrolyte based on glycerol and a developed amorphous surface consisting of globules, pores 500 nm and 250 nm in size for electrolytes based on ethylene glycol and ammonium fluoride, respectively. After electrolysis in sodium silicate solutions, a coating is formed whose elements are globules sized from 40 to 200 nm, combined into elongated ones. Analysis of the IR and Raman spectra showed the formation of a film of titanium oxide (rutile modification) and titanosilicate (titanite type).*

**Keywords:** *titanium, protective coatings, electrochemical oxidation, titanium oxide, titanosilicate, protective coatings*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Krokhnina V.A. Vysokoprochnye konstruktсионnye titanovye splavy i ikh primenenie v aviastroenii // Stundcheskaya nauchnaya vesna: Mashinostroitel'nye tekhnologii: materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - M.: OOO «KvantorForm». - 2015.
2. Zhevtun I., Gordienko P., Kulchin Y. etc. Influence of Titanium Surface Porosity on Adhesive Strength of Coatings Containing Calcium Silicate // Materials. - 2020. - V. 13. - №20. - R. 13.
3. Antunes, Renato Altobelli et al. Materials Selection of Optimized Titanium Alloys for Aircraft Applications // Materials Research. - 2018. - V. 21. - №2. - P. 9.
4. Kudryavtsev A.S., Karasiov E.A., Molchanova N.F. Titan dlya grazhdanskogo sudostroeniya // Tekhnologiya legkikh splavov. - 2010. - №1. - S. 85-91.
5. Moiseev V.N. Titan v Rossii // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. - 2005. - №8. - S. 18.
6. Illarionov A.G., Popov A.A. Tekhnologicheskie i ekspluatatsionnye svoystva titanovykh splavov: uchebnoe posobie. - Ekaterinburg: Ural. un-t, 2014. - 137 s.
7. Hoyska M., Tighe A., Semprimoschnig C. Coatings and thin films for spacecraft thermo-optical and re-related functional applications // Advanced Materials Interfaces. - 2018. - V. 5. - №11. - P. 20.
8. Lyn'kov L.M., Molodechkina T.V., Bogush V.A., Borbot'ko T.V. Legirovannye oksidy titana i tsirkoniya v tekhnologii formirovaniya zashchitnykh pokrytiy // Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki. - 2004. - №3. - S.73-84.
9. Shumeyko V.P., Goryachev E.A. Issledovanie parametrov kholodnoy prokatki ul'tramelkozernistogo titana // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Metallurgiya. - 2016. - T. 16. - №3. - S. 104-110.
10. Utkin K.E., Torgashin S.I., Hoshev A.V. Upravlyaemyy sintez tonkikh plenok, poluchennykh metodom magnetronnogo raspyleniya // Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'. - 2019. - №2(24). - S. 41-46.
11. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Hrisanfova O.A. i dr. Antifriktsionnye svoystva pokrytiy, poluchennykh metodom mikrodogovogo oksidirovaniya na titane // Issledovano v Rossii. - 2002. - T.5. - S. 376-387.
12. Molodechkina T.V., Vasyukov A.V., Borskaya A.V., Molodechkin M.O. Osobennosti formirovaniya tolstoplenochnykh pokrytiy na osnove dioksida titana // Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii. - №7. - 2007. - S. 125-127.
13. Sibilaeva S.V., Kozlova L.S. Obzor tekhnologiy polucheniya pokrytiy na titanovykh splavakh plazmennym elektroliticheskim oksidirovaniem // Aviatsionnye materialy i tekhnologii. - 2016. - №S2 (44). - S. 3-10.
14. Petukhov D.I., Valeev R.G., Reshetnikov S.M. Poristye anodnye oksidy alyuminiya i titana: struktura, svoystva, sintez: uchebnoe posobie. - Izhevsk: Udmurtskiy universitet, 2018. - 122 s.
15. Ashurkevich K.V., Nikolaenko I.A., Borisenko V.E. Formirovanie i svoystva fotokataliticheski tolstykh plenok s dioksidom titana // Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki. - 2012. - №6. - S. 50-55.
16. Gnedenkov S.V., Sidorova M.V., Sinebryukhov S.L. i dr. Stroenie i svoystva pokrytiy, poluchennykh metodom plazmennogo elektroliticheskogo oksidirovaniya na aviatsionnykh magnievykh splavakh // Aviatsionnye materialy i tekhnologii. - 2013. - №S2. - S. 36-45.
17. Denisenko A.V., Morozov A.N., Mikhaylichenko A.I. Poluchenie nanostrukturirovannogo dioksida titana metodom anodirovaniya titana vo ftoridsoderzhashchikh rastvorakh elektrolitov na osnove etilenglikolya, formamida i glitserina // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. - 2017. - T. XXXI. - №6. - C. 96-98.
18. Denisenko A.V., Morozov A.N., Mikhaylichenko A.I. Poluchenie pokrytiy iz nanotrubok TiO2 metodom anodirovaniya titana v elektrolitakh na osnove etilenglikolya s razlichnym sodержaniem vody // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. - 2015. - T. XXIX. - №3. - C. 71-73.
19. Sinyakov M.V., Zasyapkina A.A., Tishkin V.V. i dr. Nanostrukturnye pokrytiya na osnove titana dlya elektrodov elektrokhimicheskikh ustroystv s tverdym polimernym elektrolitom // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3. Fizika. Astronomiya. - 2023. - T. 78. - №2. - S.2320501(1)-2320501(8).
20. Mar'eva E.A., Popova O.V. Elektrokhimicheskoe modifitsirovanie titana v vodno-organicheskikh elektrolitakh: monografiya. - Taganrog: Yuzhnyy federal'nyy universitet, 2016. - 151 s.

**Gorshkov Aleksander Igorevich**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Oryol, st. Komsomolskaya, 95  
Senior lecturer  
E-mail: gorshkov.a.i@yandex.ru

**Konopelko Oksana Yuryevna**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Oryol, st. Komsomolskaya, 95  
Student  
E-mail: oksanka2001kono@yandex.ru

**Gribanov Evgeny Nikolaevich**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Oryol, st. Komsomolskaya, 95  
Candidate of chemical sciences  
E-mail: gribanoven@gmail.com

**Kuznetsova Nadezhda Alexandrovna**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Oryol, st. Komsomolskaya, 95  
Student  
E-mail: nadak0190@gmail.com

Научная статья

УДК 621.396.6:621.314

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-31-37

Ю.В. ГАРМАШ, И.И. ПОНОМАРЕВА, В.И. САРБАЕВ

## СТРУКТУРА УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

**Аннотация.** Рассмотрена структура управляющей системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, позволяющая регулировать температуру охлаждающей жидкости, и соответственно, двигателя внутреннего сгорания в зависимости от режима его работы. Целью исследования является улучшение эксплуатационных характеристик управляющей системы, позволяющих повысить точность поддержания температуры двигателя внутреннего сгорания до величин порядка 1 град., что заметно влияет особенно при высоких оборотах двигателя, как на полноту сгорания топлива и на экологию окружающей среды, так и на срок службы самого двигателя. Стабильность показателей работы двигателя внутреннего сгорания в значительной мере определяется его температурой, которая, в свою очередь, зависит от структуры и точности работы управляющей системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания.

**Ключевые слова:** управляющая система, двигатель внутреннего сгорания, частота вращения двигателя постоянного тока, автоматическая регулировка температуры, преобразователь параметров электрической энергии, токсичность отработавших газов

### **Введение**

Как известно из литературы [1-3], рабочая температура двигателя внутреннего сгорания (ДВС) автотранспортного средства непосредственно влияет на процесс смесеобразования в цилиндрах ДВС, и, следовательно, как на его коэффициент полезного действия (КПД), так и на полноту сгорания топлива (экология окружающей среды) и ресурс работы ДВС. Температура охлаждающей жидкости ДВС определяется как климатическими условиями, так и условиями его охлаждения, а также режимом работы двигателя.

Система охлаждения ДВС необходима для поддержания теплового состояния ДВС в диапазоне температур, при работе в котором он обеспечивает номинальные характеристики при максимальной долговечности.

### **Материал и методы**

**Постановка задачи.** В современных автотранспортных средствах охлаждение ДВС устроено так, что переключение вентилятора системы охлаждения ДВС осуществляется автоматически в случаях достижения границ заданного техническими условиями диапазона его температур. Причем эти границы зависят от типа автомобиля и ДВС. Так для заднеприводных автомобилей они обычно лежат в диапазоне 85-95° С, а для переднеприводных – 95-105° С.

Такое построение схемы устройства отличается высокой надежностью работы и безусловной простотой, но оно имеет и очевидный недостаток поскольку вентилятор охлаждения ДВС включается на полную мощность и полностью отключается при температурах, определяемых характеристиками гистерезиса биметаллического датчика температуры.

Указанной причиной и обусловлены погрешности в установке температуры переключения датчика в диапазоне около 10 градусов цельсия [4, 5], что дает избыточный расход топлива, а также к снижает ресурс работы ДВС, кроме того, отрицательно влияет на экологию окружающей среды [5, 6].

### **Теория**

**Решение задачи.** Выход из данной ситуации можно найти в использовании самостоятельно автоматически подстраивающегося к изменяющимся условиям устройства электропитания вентилятора охлаждения ДВС, построенной с применением широтно-импульсного (ШИМ) регулирования [7, 8], причем регулятор включается в цепь обратной связи системы

управления. Устройство подключает вентилятор охлаждения с небольшой скоростью вращения примерно за 10-15 градусов до достижения ДВС рабочей температуры и увеличивает скорость вращения в процессе прогрева ДВС. Предлагаемый способ охлаждения ДВС позволяет получить, как плавный выход на установленную рабочую температуру ДВС, так и позволяет получить большую точность ее поддержания.

Как известно из литературы [9, 10], частота (скорость) вращения якоря двигателя постоянного тока (ДПТ) может быть определена из уравнения:

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} r_{\text{я}}}{C_E \Phi}, \quad (1)$$

где  $n$  - скорость вращения якоря ДПТ и, соответственно, вентилятора, об/мин;

$C_E$  – конструктивная постоянная ДПТ;

$U$  - напряжение питания, подаваемое на ДПТ, В;

$I_{\text{я}}$  - ток, протекающий по обмотке якоря, А;

$r_{\text{я}}$  – суммарное сопротивление цепи ротора, Ом;

$\Phi$  – основной магнитный поток ДПТ, Вб.

Возможные варианты способов изменения скорости вращения якоря определяются по уравнению (1), откуда следует, что менять частоту вращения ротора можно тремя способами:

- 1) изменением основного магнитного потока полюсов ДПТ;
- 2) изменением величины резистора, включенного в цепь якоря;
- 3) изменением уровня напряжения питания ДПТ.

Ранее в системах автомобилей, применялись ДПТ с возбуждением основного магнитного потока с помощью соответствующих обмоток статора. В настоящее время в электрооборудовании автотранспортных средств в основном применяют ДПТ с постоянными магнитами для создания основного магнитного потока, что связано с появлением магнитных материалов для постоянных магнитов с высокой остаточной индукцией.

Применение подобных современных двигателей, не дает возможности регулировать магнитный поток, и остаются только два способа изменять скорость вращения якоря, сводящиеся к подключению последовательно в цепь якоря ДПТ добавочного резистора. В случае такого построения схемы устройства наблюдается перераспределение напряжения питания между включенным сопротивлением и, собственно, обмоткой якоря, при этом напряжение на обмотке изменяется. В результате меняется соответствующим образом скорость вращения вентилятора, и скорость создаваемого им воздушного потока.

Отметим, что при включении в цепь ротора ДПТ дополнительного резистора существенным образом изменяются характеристики ДПТ, во-первых, проявляется более сильная зависимость скорости вращения электродвигателя вентилятора от механической нагрузки на его валу, так как при увеличении тока в цепи якоря возрастает падение напряжения на добавочном резисторе, и напряжение на обмотке якоря ДПТ уменьшается (более мягкая скоростная характеристика), а, во-вторых, увеличиваются непроизводительные потери энергии за счет нагрева дополнительного резистора.

Следовательно, остается только одна эффективная возможность - изменение питающего напряжения на ДПТ, которое возможно при использовании автоматизированной подстраиваемой к режиму работы (адаптивной) системы электроснабжения.

Для создания подобной адаптивной системы питания может быть применена широтно-импульсная модуляция (ШИМ) [7, 8], принцип получения которой заключается в сравнении с помощью компаратора входного напряжения и напряжения, генерируемого генератором пилообразного напряжения (ГПН) (рис. 1). Отметим, что подобный принцип управления предлагался достаточно давно для вентилятора системы отопления [11], однако, он не был реализован из-за отсутствия в то время мощных силовых транзисторных ключей.

С подобными целями может использоваться и частотно-импульсная модуляция (ЧИМ) [12-14], однако, при ее применении спектр сигнала получается заметно более широким [13], что плохо влияет на электромагнитную совместимость приборов и систем электрооборудования.

Способ получения ШИМ состоит в следующем: если уровень входного модулирующего сигнала превышает уровень напряжения, вырабатываемого ГПН, то на выходе схемы сравнения (компаратора) устанавливается выходной высокий уровень напряжения; а в случае обратной ситуации – низкий выходной уровень напряжения. Как следует из рисунка 1, продолжительность импульса на выходе схемы сравнения прямо пропорциональна входному напряжению.

Отметим, что период импульсов ШИМ модулированного сигнала  $T$  остается неизменным и определяется частотой сигнала, генерированного ГПН, то время действия импульса  $t_u$  изменяется в процессе модуляции, а уровень постоянной составляющей  $U_{cp}$  выходного ШИМ сигнала будет изменяться, и этот меняющееся во времени уровень  $U_{cp}$  определяется длительностью импульса выходного напряжения компаратора и может быть использован в качестве напряжения питания ДПТ.

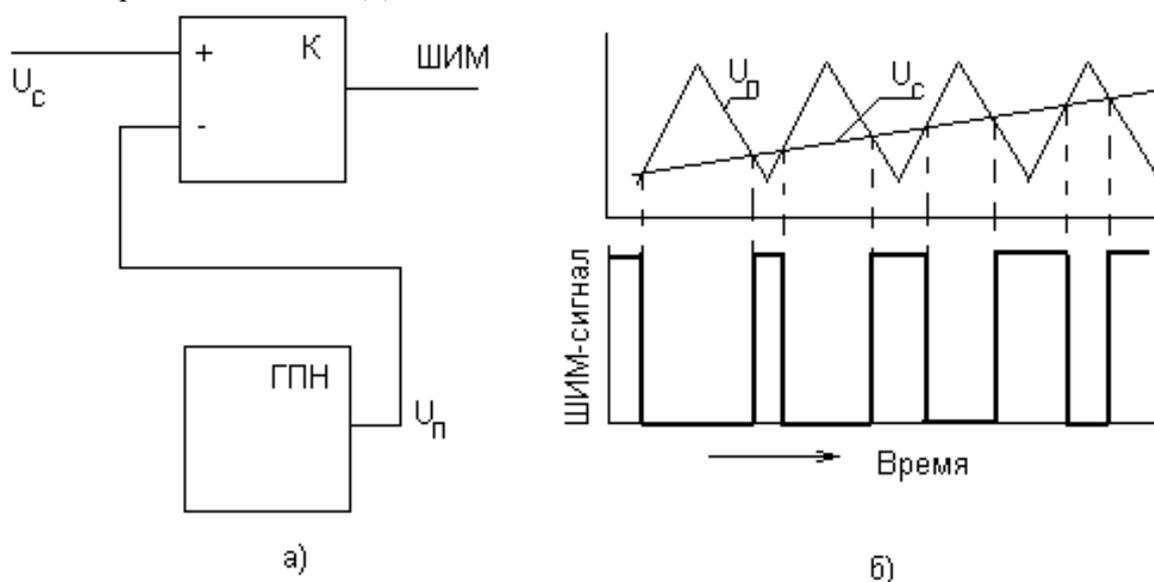


Рисунок 1 – Функциональная схема получения ШИМ (а) и принцип (б) получения ШИМ сигнала [7, 8]:  
 К – схема сравнения уровней (компаратор); ГПН – генератор пилообразного напряжения

Отметим, что подобное управление электродвигателем системы охлаждения уже начиная с частоты ШИМ-сигнала 100 Гц не вызывает каких-либо неравномерностей в скорости (частоте) вращения электродвигателя из-за инерционности его ротора.

ШИМ описывается коэффициентом заполнения  $\gamma = t_u / T$ , который при изменении входного уровня модулирующего напряжения меняется в пределах 0-1, а уровень среднего выходного напряжения схемы сравнения:

$$U = U_{пит} \frac{t_u}{T}, \quad (2)$$

где  $U_{пит}$  – питающее напряжение компаратора, В.

Импульсный сигнал с выхода схемы сравнения уровней используется в качестве управляющего для мощного силового ключа, в качестве которого обычно применяют мощный полевой транзистор. В случае замкнутого ключа мощность рассеиваемая на нем определяется произведением падения напряжения на канале транзистора и протекающего тока, и она очень мала из-за небольшого падения напряжения на канале (в случае современных полевых транзисторов со структурой металл-окисел-полупроводник (МОП), например, типа IRF 3205 [15] сопротивление канала находится на уровне тысячных долей Ома, при максимально допустимом токе до ста Ампер), в случае разомкнутого ключа – мощность рассеяния также очень мала из-за крайне малого тока, протекающего через закрытый транзистор (менее мкА). Во время переключения МОП транзистора из-за быстрого переключения данного типа

транзисторов (~ 10нс), энергия, рассеиваемая при переключениях также оказывается крайне малой из-за малой длительности фронтов импульсов.

Применение подобных управляющих систем на основе ШИМ значительно уменьшает средний уровень шума, производимого вентилятором охлаждения ДВС автотранспортного средства, что достигается за счет плавной регулировки его скорости вращения.

### **Расчет**

Разработка электрической принципиальной схемы устройства. Нами был разработан ряд управляющих систем и устройств, работающих на рассмотренном ранее принципе в работах [16-19]. Для уменьшения стоимости устройства, упрощения его схемы, повышения надежности и КПД за счет снижения мощности рассеивания нами был разработан и рассчитан вариант устройства управления вентилятором охлаждения с  $n$  – канальным полевым транзистором типа IRF3205. Электрическая принципиальная схема представлена на рисунке 2. В устройстве управления в качестве ШИМ – драйвера применена специализированная микросхема 494 TL [20], которая позволяет преобразовать уровень разности сигналов (датчика температуры R1 - терморезистора) и задатчика температуры (R2 – переменного резистора), причем уровень напряжения задатчика температуры может регулироваться переменным сопротивлением R2, что позволяет подстраивать «рабочую» температуру ДВС в процессе эксплуатации. Преобразование разности уровней происходит напрямую в ШИМ - сигнал, управляющий транзистором IRF 3205.

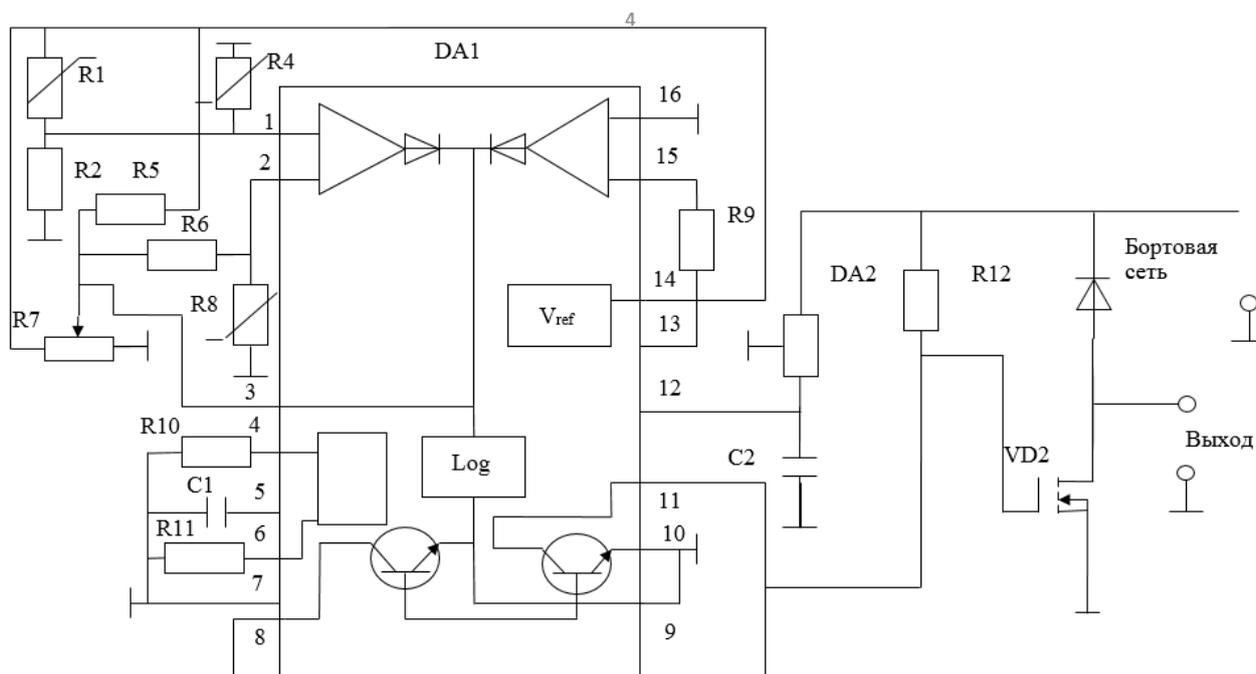
Ключ на полевом транзистор подключается параллельно контактам биметаллического переключателя и фактически выполняет его роль – с частотой ШИМ-сигнала подключая электродвигатель системы охлаждения ДВС к источнику питания. Время, на которое подключается электродвигатель, определяется коэффициентом заполнения ШИМ-сигнала, по этой причине эквивалентное постоянное напряжение, приложенное к электродвигателю определяется уравнением (2). Частота вращения ротора электродвигателя практически линейно зависит от поданного на него напряжения [9, 10], так что воздушный поток, им создаваемый зависит от разности температур датчика и задатчика температуры (сопротивления R1 и R3). Таким образом обеспечивается пропорциональное регулирование температуры охлаждающей жидкости и плавный выход на заданную температуру, а также ее поддержание с более высокой степенью точности. Микросхема стабилизатора напряжения 1158KP9A [21] применена для стабилизации питающего напряжения драйвера 494 TL, что позволяет улучшить режим ее работы.

Отметим, что подобное рассмотренному выше подключение полевого транзистора позволяет не отключать штатную систему охлаждения ДВС, а использовать ее в качестве резервной, что повышает надежность работы системы охлаждения в целом.

### **Результаты и обсуждение**

В системе реализован следующий принцип управления частотой вращения вентилятора охлаждения: вентилятор начинает медленно вращаться при разности установленной и действительной температурах охлаждающей жидкости около 10 градусов. По мере прогрева ДВС скорость вращения электродвигателя вентилятора сначала возрастает, а затем, по мере повышения температуры охлаждающей жидкости и приближения к установленной задатчиком температуре начинает уменьшаться.

Данный эффект достигается за счет применения нелинейных резисторов (варисторов R4 и R8). Подобное построение системы позволяет осуществить плавный выход температуры ДВС на необходимый режим и повысить точность ее поддержания на заданном уровне с погрешностью порядка 1 градуса.



**Рисунок 2 – Принципиальная схема управляющей системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, позволяющая регулировать температуру охлаждающей жидкости**  
 DA 1 – Микросхема ШИМ драйвера TL494; DA 2 – Микросхема стабилизатора напряжения 1158KP9A

### Выводы

- Разработана новая структура управляющей системы охлаждения ДВС, которая
- обладает более высокой эффективностью по сравнению с используемыми в настоящее время;
  - в случае применения предложенной системы управления следует ожидать улучшения процесса смесеобразования в цилиндрах ДВС из-за более точного поддержания его температуры, повышения его КПД, а также уменьшения токсичности отработавших газов и увеличения ресурса работы ДВС;
  - в случае выхода из строя электронной части управляющей системы охлаждения ДВС охлаждение двигателя не прекратится, поскольку штатная система остается подключенной, что увеличивает надежность работы системы охлаждения ДВС в целом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей. - М.: Транспорт, 1989. - 287 с.
2. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Горячая линия – телеком. - 2006. – 440 с.
3. Акимов С.В. Электрооборудование автомобилей: Учебник для ВУЗов. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем». - 2004. – 384 с.
4. Данов Б.А., Рогачев В.Д., Шевченко Н.П. Электрооборудование военной автомобильной техники: Учебное пособие. - Рязань: РВАИ. - 2005. – 518 с.
5. Автотранспорт и экология мегаполисов / А.А. Ипатов, В.Ф. Кутенев, В.А. Лукшо, А.С. Теренченко, Н.А. Хрипач. - М.: Экология Машиностроение. - 2010. - 254 с.
6. Двигатели внутреннего сгорания. Т1. Теория рабочих процессов / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др. – М.: Высшая школа. - 2005. - 476 с.
7. Хоровиц П. Искусство схемотехники. - У. Хилл. - М.: Мир. - 1983. - 598 с.
8. Интегральные микросхемы. Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. - М.: Додека. - 2000. - 608 с.
9. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. - М.: Академия. - 2003. - 539 с.
10. Общая электротехника / Под ред. А.Т. Блажкина. - Л.: Энергоатомиздат. - 1986. - 591 с.
11. Буна Бела. Электроника на автомобиле. – М.: Транспорт. – 1979. - 182 с.
12. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. - 5-е изд. перераб. - М.: Энергоатомиздат. - 1989. - 528 с.

13. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский - М.: Советское радио. - 1977. - 608 с.
14. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М.: Высшая школа. - 1978. - 656 с.
15. Справочник MOSFET. IRF3205 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://irf.ru/pdf/irf3205.pdf>
16. Гармаш Ю.В. Анализ применения импульсных преобразователей напряжения в электроприводе вспомогательного оборудования автомобильной техники. Монография. – Рязань: РВАИ. - 2007. – 99 с.
17. Пат. 2270104 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В 60 Н 1/04. Система отопления и вентиляции салона автомобиля.
18. Пат. 2336184 Российская федерация, МПК<sup>7</sup>В 60 Н 1/03. Термоэлектрический кондиционер.
19. Пат. 2472642 Российская федерация, МПК<sup>7</sup>В 60 Н 1/08. Система отопления, вентиляции и кондиционирования салона автомобиля.
20. Switch mode Pulse Width Modulation Control Circuit [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/tl494-d.pdf>
21. KP1158EH301A [Электронный ресурс] / Режим доступа: [sitsemi.ru](http://sitsemi.ru)

**Гармаш Юрий Владимирович**

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище

Адрес: 390000, Россия, г. Рязань, пл. Маргелова, 1

Д.т.н., профессор, профессор кафедры математических и естественно-научных дисциплин

E-mail: [yury.garmasch@yandex.ru](mailto:yury.garmasch@yandex.ru)

**Пономарева Ирина Ивановна**

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище

Адрес: 390000, Россия, г. Рязань, пл. Маргелова, 1

Преподаватель кафедры математических и естественно-научных дисциплин

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

**Сарбаев Владимир Иванович**

Московский политехнический университет

Адрес: 107023, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, 38

Д.т.н., профессор, профессор кафедры наземных транспортных средств

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

---

Yu.V. GARMASH, I.I. PONOMAREVA, V.I. SARBAEV

## STRUCTURE OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE CONTROL COOLING SYSTEM

**Abstract.** *The structure of the engine cooling control system is considered internal combustion engine, which allows you to adjust the temperature of the coolant, and, accordingly, the internal combustion engine, depending on its operating mode. Research objective: The main goal is to improve the operational characteristics of the control system, which allows increasing the accuracy of maintaining the temperature of the internal combustion engine to values of the order of 1 deg., which significantly affects, especially at high engine speeds, both the completeness of fuel combustion and the ecology of the environment, and the service life of the engine itself. The stability of the internal combustion engine performance is largely determined by its temperature, which, in turn, depends on the structure and accuracy of the control cooling system of the internal combustion engine.*

**Keywords:** *control system, internal combustion engine, DC motor speed, automatic temperature control, electric energy parameter converter, exhaust gas toxicity*

### BIBLIOGRAPHY

1. Yutt V.E. Elektrooborudovanie avtomobiley. - М.: Transport, 1989. - 287 s.
2. Yutt V.E. Elektrooborudovanie avtomobiley. - Izd. 4-e, pererab. i dop. - М.: Goryashchaya liniya - telekom. - 2006. - 440 s.
3. Akimov S.V. Elektrooborudovanie avtomobiley: Uchebnik dlya VUZov. - М.:ZAO KZHI «Za rulem». - 2004. - 384 s.
4. Danov B.A., Rogachev V.D., Shevchenko N.P. Elektrooborudovanie voennoy avtomobil'noy tekhniki: Uchebnoe posobie. - Ryazan': RVAI. - 2005. - 518 s.
5. Avtotransport i ekologiya megapolisov / A.A. Ipatov, V.F. Kutenev, V.A. Luksho, A.S. Terenchenko, N.A. Hripach. - М.: - Ekologiya Mashinostroenie. - 2010. - 254 s.

6. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. T1. Teoriya rabochikh protsessov / V.N. Lukanin, K.A. Morozov, A.S. Hachiyani i dr. - M.: Vysshaya shkola. - 2005. - 476 s.
7. Horovits P. Iskustvo skhemotekhniki. - U. Hill. - M.: Mir. - 1983. - 598 s.
8. Integral`nye mikroskhemyy. Mikroskhemyy dlya impul`nykh istochnikov pitaniya i ikh primeneniye. - M.: Dodeka. - 2000. - 608 s.
9. Kasatkin A.S., Nemtsov M.V. Elektrotehnika. - M.: Akademiya. - 2003. - 539 s.
10. Obshchaya elektrotehnika / Pod red. A.T. Blazhkina. - L.: Energoatomizdat. - 1986. - 591 s.
11. Buna Bela. Elektronika na avtomobile. - M.: Transport. - 1979. - 182 s.
12. Osnovy teorii tsepey / G.V. Zeveke, P.A. Ionkin, A.V. Netushil, S.V. Strakhov. - 5-e izd. pererab. - M.: Energoatomizdat. - 1989. - 528 s.
13. Gonorovskiy I. S. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly / I.S. Gonorovskiy - M.: Sovetskoe radio. - 1977. - 608 s.
14. Bessonov L. A. Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki. Elektricheskie tsepi. - M.: Vysshaya shkola. - 1978. - 656 s.
15. Spravochnik MOSFET. IRF3205 [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://irf.ru/pdf/irf3205.pdf>
16. Garmash Yu.V. Analiz primeneniya impul`nykh preobrazovateley napryazheniya v elektroprivode vspomogatel`nogo oborudovaniya avtomobil`noy tekhniki. Monografiya. - Ryazan`: RVAI. - 2007. - 99 s.
17. Pat. 2270104 Rossiyskaya federatsiya, MPK7 B 60 H 1/04. Sistema otopleniya i ventilyatsii salona avtomobilya.
18. Pat. 2336184 Rossiyskaya federatsiya, MPK7B 60 H 1/03. Termoelektricheskiy konditsioner.
19. Pat. 2472642 Rossiyskaya federatsiya, MPK7B 60 H 1/08. Sistema otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya salona avtomobilya.
20. Switch mode Pulse Width Modulation Control Circuit [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/tl494-d.pdf>
21. KR1158EN301A [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: [sitsemi.ru](http://sitsemi.ru)

**Garmash Yuriy Vladimirovich**

Ryazan Guards Higher Airborne Command School  
Address: 390000, Russia, Ryazan, Margelova sq., 1  
Doctor of technical sciences  
E-mail: [yury.garmasch@yandex.ru](mailto:yury.garmasch@yandex.ru)

**Ponomareva Irina Ivanovna**

Ryazan Guards Higher Airborne Command School  
Address: 390000, Russia, Ryazan, Margelova sq., 1  
Lecturer of the department of mathematical and natural science disciplines  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

**Sarbaev Vladimir Ivanovich**

Moscow Polytechnic University  
Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38 B  
Doctor of technical sciences  
e-mail: [visarbaev@gmail.com](mailto:visarbaev@gmail.com)

Научная статья

УДК 629.362.5

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-38-45

Н.С. ЗАХАРОВ, Н.О. САПОЖЕНКОВ, И.Ф. ШАКИРОВ

**ОРГАНИЗАЦИЯ ТОПЛИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ АЭРОПОРТОВ**

***Аннотация.** Проанализированы методы нормирования расхода топлива специальными автомобилями с учётом температуры окружающего воздуха, количества осадков и наработки верхнего оборудования. Установлено, что действующие нормы не в полной мере отражают специфику использования снегоуборочных автомобилей в аэропортах. Для корректировки норм предложена методика на основе удельных показателей работы основного и вспомогательного двигателя, применение которой исключает разночтения в действующих стандартах, оптимизирует топливные запасы и повышает эффективность эксплуатации автомобилей.*

***Ключевые слова:** аэропорт, специальные автомобили, безопасность полётов, дорожные условия, топливная экономичность, наработка верхнего оборудования, температура, количество осадков, расход топлива*

**Введение**

Специальные автомобили играют важную роль в технологических процессах деятельности аэропортов. Безопасность регулярных рейсов в зимний период существенно зависит от состояния взлётно-посадочных полос, мест стоянки воздушных судов и прилегающих территорий, поэтому к снегоуборочным автомобилям предъявляются жёсткие требования по скорости и качеству очистки дорожных покрытий. Активное обновление автопарка специальных служб аэропортов не в полной мере учитывается в действующих стандартах, что влечёт за собой разночтения в нормативных документах при списании топлива из-за несоответствия параметров работы верхнего оборудования, режимов использования и производительности новых моделей выпущенным ранее аналогам. Нормы расхода топлива снегоуборочными автомобилями подробно описаны в указаниях по нормированию расхода горюче-смазочных материалов средствами механизации в предприятиях гражданской авиации №436/у от 15 августа 1989 г., Постановлении Госстроя РФ № 36 от 09.03.2004 и распоряжении Министерства транспорта РФ №АМ 23-р от 14 марта 2008 г. Вместе с тем, указанные документы не позволяют в полной мере оценить топливную экономичность новых моделей по ряду объективных причин. Так, перечень транспортных средств в документе по нормированию расхода топлива средствами механизации производственных процессов в аэропортах гражданской авиации утратил актуальность, а использование приведённой методики аналитического расчёта на основе силового и топливного баланса для вновь выпущенных автомобилей затруднено из-за отсутствия данных в открытом доступе для теоретического анализа энергетической схемы средств с использованием характеристик технологических операций и технико-эксплуатационных параметров транспортных средств, заложенных заводами-изготовителями на стадии разработки. Постановление Госстроя РФ регламентирует расход топлива на передвижение в транспортном режиме исходя из норм на 1 тонну массы установленного на шасси спецоборудования и его удельного времени работы с приводом от автономного двигателя внутреннего сгорания. В результате норма определяется как сумма расхода топлива на передвижение машины и работу автономного двигателя для привода спецоборудования. Методика объективна, но её использование на практике ограничено данными по расходу топлива верхним оборудованием, что требует проведения дополнительных исследований по установлению удельных норм расхода для отсутствующих в приведённом перечне документа моделей транспортных средств. Методические рекомендации Министерства транспорта РФ [1, 2], утверждённые в документе «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», отличаются объёмным перечнем данных для персонифицированного расчёта норм, но по результатам изучения позиций заинтересован-

ных сторон в Минэкономразвития России 3 апреля 2012 г. указано на рекомендательный характер распоряжения, поскольку эффективное регулирование в рамках акта осложнено тем, что нормативы установлены для многих марок и моделей автомобилей отечественного и зарубежного производства, которые сняты с производства или выведены из эксплуатации.

Таким образом, действующие методики нормирования расхода топлива механизированными средствами гражданской авиации, коммунальной техникой и специальными автомобилями с поправочными коэффициентами учёта дорожно-транспортных, климатических и других эксплуатационных факторов не позволяют оценить расход топлива новых моделей автотранспортных средств с необходимой степенью достоверности без проведения дополнительных исследований. Регламентирующими документами в качестве альтернативы предприятиям рекомендовано организовывать самостоятельное проведение тестовых испытаний поступающего в эксплуатацию автомобильного транспорта на топливную экономичность по методикам заводов-изготовителей, научно-исследовательских институтов и других аккредитованных организаций в том числе с использованием статистических данных [3-11]. В этой связи, исследования закономерностей формирования расхода топлива снегоуборочными автомобилями на основе автоматизированных систем учёта фактических данных для обеспечения безопасности регулярных рейсов воздушных судов в аэропортах при оптимальных эксплуатационных затратах актуальны, поэтому целью работы является повышение эффективности эксплуатации снегоуборочных автомобилей на основе корректирования норм расхода топлива.

### Материал и методы

Методология исследования основана на системном подходе, методах анализа технической эксплуатации автомобилей и апробированных методиках обработки данных. Структура парка специальных автомобилей в аэропортах России имеет схожие черты при различных значениях численности населения города, объёмах перевозок пассажиров и показателях воздействия климатических условий [12-19]. Данное обстоятельство объясняется тем, что основная задача служб специального транспорта аэропортов состоит в обеспечении бесперебойного обслуживания воздушных судов, поэтому автомобили для общехозяйственной деятельности занимают меньшую долю (рис. 1).

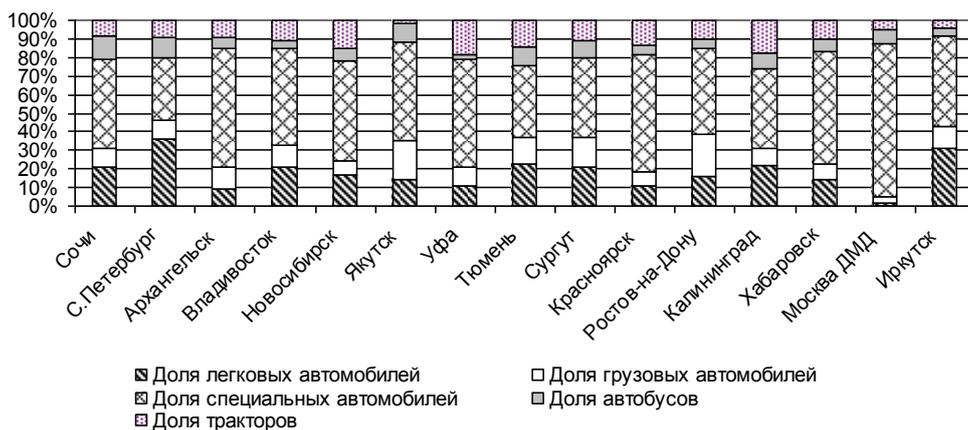
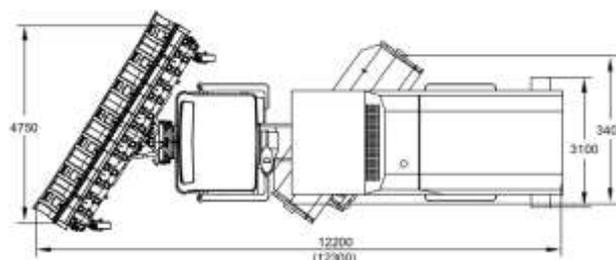


Рисунок 1 – Структура транспортного обеспечения аэропортов

В исследованных аэропортах для снегоочистки используются плужно-щеточно-продувочные машины семейства Schmidt CJS, которые также широко используются в аэропортах Германии, Китая и Великобритании. В качестве базового шасси применяются полноприводные грузовые автомобили серийного производства Mercedes-Benz Actros 2032 4x4, MAN TGS 20.320 4x4 и Volvo FE 320 4x4. В стандартное оборудование входит отвал, подметальный щёточный агрегат и устройство для нагнетания воздуха (воздуходувка). Отвал устанавливается в передней части для предварительной очистки поверхности, направления выброса снега и предотвращения образования снежной пыли при работе. Подметальный агрегат с гидростатическим приводом вала щётки поддерживается маятниковым способом и вмонтирован между передним и задним мостами автомобиля, чем обеспечивается дополнительная горизонтальная адаптация к подметаемой поверхности на ряду с установленными амортизаторами. Щётка осна-

щена запатентованной автоматической системой прижима к покрытию в зависимости от степени износа щеточного ворса, что при частоте вращения от 500 до 900 об./мин совместно с системой настройки на опорных колёсах позволяет регулировать степень очистки поверхности непосредственно в движении. В качестве унифицированного узла привода для подметального агрегата и воздуходувки используется аналогичный установленному на шасси Mercedes-Benz Actros двигатель внутреннего сгорания OM 501 LA, что позволяет снизить затраты на техническое обслуживание за счёт объединения номенклатуры запасных частей, схожести технологических операций и отсутствия дополнительных требований к квалификации персонала (рис. 2).



*Рисунок 2 - Mercedes-Benz Actros SCHMIDT CJS 914 Super II*

Популярность Schmidt CJS подтверждается обширной географией использования в аэропортах России, Китая, Германии и Великобритании, поэтому результаты исследования могут быть масштабированы в зависимости от среднемесячного количества осадков, температуры воздуха и наработки верхнего оборудования. План эксперимента по измерению расхода топлива основан на удельной наработке основного и вспомогательного двигателей внутреннего сгорания, а также длительности использования отвала, снегоочистительной щётки и воздуходувки на 1 километр пути при различных значениях температуры окружающего воздуха и количества осадков. Стоит отметить, что для операторов снегоуборочных автомобилей на ряду с автоматизированным использованием предусмотрен режим ручного управления параметрами работы снегоуборочного оборудования, в рамках которого регулируется угол и высота отвала, усилие прижатия к дорожному полотну и частота вращения щётки и мощность воздуходувки (рис. 3).



*Рисунок 3 – Бортовой компьютер и блок управления навесным оборудованием*

Вместе с тем, задачей снегоочистки является обеспечение требуемых показателей сцепления дорожного покрытия за минимальное время, поэтому минимальные базовые значения параметров работы указанного оборудования для эффективной очистки устанавливаются одновременно по результатам практического испытания новой техники при вводе в эксплуатацию, что вызывает необходимость корректировки только при предельном износе активных поверхностей снегоочистительных элементов (накладки отвала и ворс щётки) либо аномальных климатических условиях, при которых сочетание показателей воздействия количества осадков и температуры воздуха требует активной интенсификации частоты вращения и максимального усилия прижима для полноценной очистки дорожного полотна. Вклад снегоуборочных автомобилей в безопасность полётов воздушных судов предполагает регулярное технический осмотр и наличие резервного оборотного фонда запасных частей и расходных материалов для обслуживания снегоуборочного оборудования, что позволяет поддерживать стабильно высокое качество очистки на основе превентивной замены до начала деградации показателей фрикционных свойств ворса

щёток, что позволяет исключить компенсацию снижения производительности за счёт режимов работы оборудования. Технология очистки взлётно-посадочных полос регламентирует минимальное необходимое количество техники в зависимости от производительности и площади очистки взлётно-посадочных полос, мест стоянки воздушных судов и прилегающих территорий, поэтому регулярное использование снегоуборочных автомобилей позволяет избежать критических значений высоты и плотности выпавших осадков на поверхности (рис. 4).

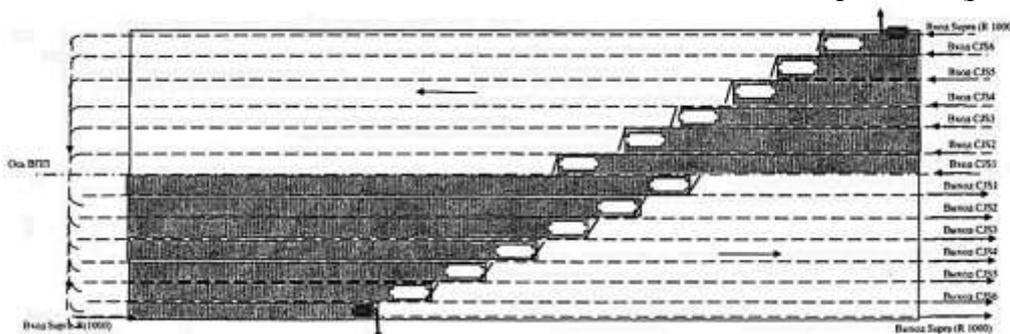


Рисунок 4 – Технологическая карта очистки взлётно-посадочной полосы

Таким образом, план эксперимента по измерению расхода топлива снегоуборочными автомобилями при обслуживании аэропортов может быть сфокусирован на показателях температуры воздуха и удельного времени использования верхнего оборудования на единицу пробега.

### Теория / Расчёт

Методология исследования основана на системном подходе, методах анализа технической эксплуатации автомобилей и апробированных методиках обработки данных, поэтому на первом этапе была разработана структура формирования расхода топлива снегоуборочными автомобилями при обслуживании аэропортов (рис. 5).



Рисунок 5 – Структура системы формирования расхода топлива снегоуборочными автомобилями

Из предложенной структуры следует, что основная задача по определению нормативного расхода топлива сводится к оценке режимов работы снегоочистительного оборудования. Несмотря на отсутствие корреляции между температурой воздуха и количеством выпавших осадков изменение плотности тающего снега связано с увеличением массы, что влечёт за собой рост сопротивления движению автомобиля с опущенным отвалом и приводу вращения щётки. Рас-

ход топлива на привод воздуходувки при этом меняется несущественно, так как увеличение потерь из-за плотного воздуха при низких температурах компенсируется снижением частоты вращения крыльчатки наддува из-за снижения плотности сухого снега. При этом по технологии очистки не рекомендуется использовать воздуходувки в диапазоне температур от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $-7^{\circ}\text{C}$  из-за риска образования льда [20], оплавления и примерзания талого снега к покрытию, но практика в аэропортах с высокой интенсивностью движения воздушных судов показывает, что при комплексном применении снегоуборочной техники и антигололедных реагентов воздуходувка используется во всём температурном диапазоне. Для формирования гипотез о виде моделей для описания влияния температуры воздуха и количества осадков дополнительно были проанализированы показатели работы аналогичных Mercedes-Benz Actros SCHMIDT CJS 914 Super II снегоуборочных автомобилей с двумя двигателями внутреннего сгорания для коммунальных служб в Постановлении Госстроя РФ № 36 от 09.03.2004. Установлено, что средняя доля расхода топлива на отвал и привод щётки составляет 90 % и 40 % от индивидуальной нормы соответственно. Сопротивление движению автомобиля с опущенным отвалом

при увеличении количества осадков образуется за счёт образования насыпи снега по всей длине траектории движения, в то время как увеличение расхода топлива на привод щётки ограничено высотой снега, оставшегося после отвала, поэтому для описания указанных зависимостей могут быть использованы квадратичные модели.

$$q_{L,щ} = H_{SC} \cdot (a \cdot N^2 + b \cdot N + c), \quad (1)$$

где  $H_{SC}$  – индивидуальная норма расхода топлив на пробег специального автомобиля, л/100 км;

$q_{L,щ}$  – расход топлива на отвал и привод щётки, л./100км;

$T$  – количество осадков, мм;

$a, b, c$  – эмпирические коэффициенты.

Плотность свежеснегавшего снега варьирует в широких пределах от 10 кг/м<sup>3</sup> в холодное время года до 700 кг/м<sup>3</sup> при таянии, поэтому для описания уменьшения степени наполнения пор снега водой при низких температурах могут быть использованы экспоненциальные модели.

$$K_T = a \cdot \exp^{bT}, \quad (2)$$

где  $K_T$  – температурный коэффициент;

$T$  – температура воздуха, °С;

$a, b$  – эмпирические коэффициенты.

Таким образом, были выдвинуты гипотезы о виде математических моделей формирования расхода топлива снегоуборочными автомобилями в зависимости от климатических факторов.

#### **Результаты и обсуждение**

По результатам проведённых исследований составлено уравнение топливного баланса:

$$Q_{\Sigma} = q_L \cdot K_T \cdot L + q_{щ} \cdot K_T \cdot \tau_{щ} + q_B \cdot \tau_B, \quad (3)$$

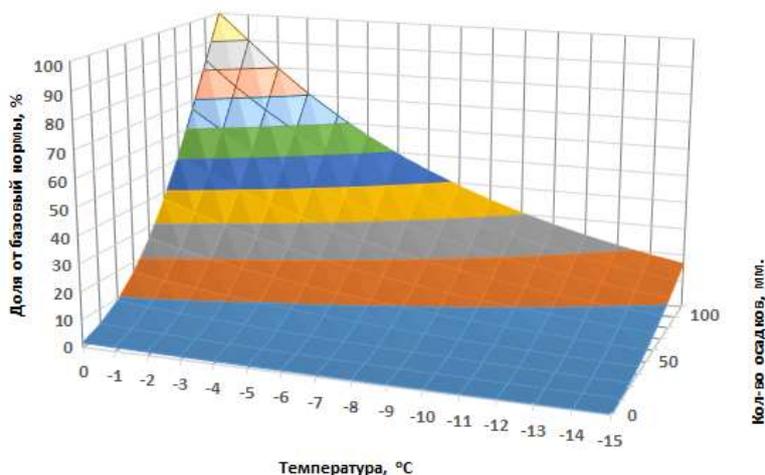
где  $Q_{\Sigma}$  – суммарный расход топлива, л./100 км.;

$L$  – пробег автомобиля, км.;

$\tau_B$  – наработка снегоочистительной щетки м-ч./100 км.;

$\tau_{щ}$  – наработка снегоочистительной щетки м-ч./100 км.

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что сопротивление движению автомобиля с опущенным отвалом при увеличении количества осадков существенно возрастает при повышении температуры и водонасыщении снега (рис. 6).



**Рисунок 6 – Модель формирования расхода топлива при движении с опущенным отвалом**

Расход топлива на привод снегоочистительной щётки также растёт при таянии снега, но ограничен по величине из-за незначительной вариации значений высоты снежного покрова, обусловленной расположением отвала в передней части SCHMIDT CJS 914 Super II (рис. 7).

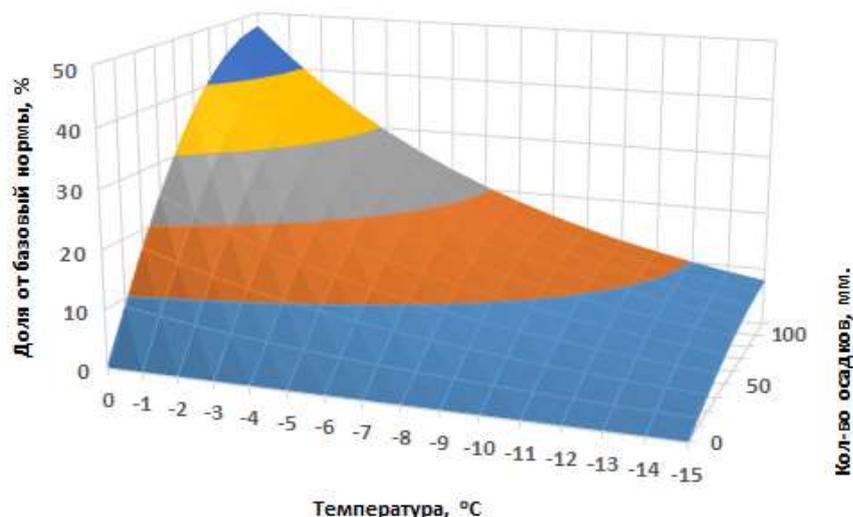


Рисунок 7 – Модель формирования расхода топлива на привод снегоочистительной щётки

### Выводы

Таким образом, полученные результаты могут быть использованы при планировании затрат, формировании бюджета и управлении запасами топлива в аэропортах. Применение разработанной математической модели обеспечивает оптимальный размер запаса топлива с прогнозируемыми показателями потребления, что исключает простои техники и позволяет эффективно управлять закупками при формировании текущих, страховых и резервных запасов в соответствии с номенклатурой используемых транспортных средств.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы расхода топлив и смазочных материалов: Распоряжение Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_76009](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
2. ГОСТ Р 54810-2011 Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200093157> свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
3. Курганов В.М. Методика нормирования материальных ресурсов для автобусов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – №1. – 2022. – С. 102-116.
4. Huertas J.I., Giraldo M., Quirama L.F., Diaz J. Driving cycles based on fuel consumption // Energies. – 2018. – 11, 3064. – P. 125-142.
5. Gao J., Chen H., Li Y., Chen J., Zhang Y., Dave K., Huang Y. Fuel consumption and exhaust emissions of diesel vehicles in worldwide harmonized light vehicles test cycles and their sensitivities to eco-driving factors // Energy conversion and management. – № 196. – P. 605-613.
6. Мороз С.М. Технология автоматического индивидуального нормирования расхода топлива для авто-транспортных средств // Грузовик. – 2019. – №3. – С. 11-15.
7. Кузнецов В.Н. Автоматизация расчета норм расхода топлива на предприятиях АПК // Вестник АГАУ. – 2019. – №1(171). – С. 164-169.
8. Yi S., Naoran Z., Xuan S., Fengjing S., Changying W., Yao L. GPS data in urban online ride-hailing: A comparative analysis on fuel consumption and emissions // Journal of cleaner production. – 2019. – Т. 227. – С. 495-505.
9. Perrotta F., Parry T., Neves L.C., Buckland T., Benbow E., Mesgarpour M. Verification of the HDM-4 fuel consumption model using a Big data approach: A UK case study // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – №67. – P. 109-118.
10. Горяев Н.К., Хабибуллозода Х.Х., Вавилова Е.Н. Совершенствование нормирования расхода топлива на транспортную работу для междугородных перевозок // Вестник ЮУГУ. – 2019. – Т. 13. – №2. – С. 171-174.
11. Трофимов Б.С. Методика нормирования расходования топлива для легковых автомобилей в городских условиях эксплуатации // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. - №4-1(79). - С. 13-22.
12. Захаров Н.С., Сапоженков Н.О. Определение оптимальной периодичности заряда автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период // Материалы МНТК.: ТТС. – 2016. – С. 134-139.

13. Захаров Н.С., Сапоженков Н.О. Моделирование процессов формирования уровня заряженности автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2016. - №3(51). - С. 232-237.

14. Бурков В.Н. Модели управления безопасностью. - М.: СИНТЕГ, 2016. - 243 с.

15. Конев В.В., Мерданов Ш.М. Оптимизация тепловой подготовки гидропривода строительного дорожных машин // Материалы ННПК: Нефть и газ: технологии и инновации – 2020. – С. 194-196.

16. Шакиров И.Ф., Захаров Н.С. Математические модели закономерностей влияния факторов на расход топлива специальных автомобилей // Научно-технический вестник Поволжья. - 2014. – №6. – С. 368-370.

17. Шакиров И.Ф., Захаров Н.С. Система формирования расхода топлива снегоочистительными автомобилями аэропортов [Электронный ресурс] / Инженерный вестник Дона. - №1. - 2015. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2825>.

18. Шакиров И.Ф. Формирование норм расхода топлива специальными автомобилями [Электронный ресурс] / Инженерный вестник Дона. - №3. - 2015. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/>.

19. Шакиров И.Ф. Экономический эффект от применения методики расчета норм расхода топлива специальными автомобилями аэропортов при работе навесного оборудования // Научное обозрение. – 2015. – №16.

20. Субачев Е.В. Расчёт плотности распределения противогололедного реагента одной форсункой аэродромной поливомоечной машины // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. - №4-1(79). - С. 48-54.

**Захаров Николай Степанович**

Тюменский индустриальный университет

Адрес: 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой сервиса автомобилей и технологических машин

E-mail: [zakharov\\_ns@mail.ru](mailto:zakharov_ns@mail.ru)

**Сапоженков Николай Олегович**

Тюменский индустриальный университет

Адрес: 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

К.т.н., доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин

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

**Шакиров Иван Фаимович**

Тюменский индустриальный университет

Адрес: 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

Соискатель кафедры сервиса автомобилей и технологических машин

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

---

N.S. ZAKHAROV, N.O. SAPOZHENKOV, I.F. SHAKIROV

**SPECIAL VEHICLES FUEL SUPPLY ORGANIZATION  
FOR AIRPORT SERVICE**

***Abstract.** The methods of fuel consumption rationing by special vehicles are analyzed, taking into account ambient temperature, amount of precipitation and upper equipment operating time. It has been established that the current standards do not fully characterize the use of snowplows at airports. The results can be applied to correct the fuel consumption rationing methodology based on the specific performance of the main and auxiliary engines which eliminates discrepancies in the current standards, optimizes fuel reserves and increases the efficiency of vehicle operation.*

***Keywords:** airport, special vehicles, flight safety, road conditions, fuel efficiency, upper equipment operating time, temperature, precipitation, fuel consumption*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Normy raskhoda topliv i smazochnykh materialov: Rasporyazhenie Mintransa RF ot 14.03.2008 № AM-23-r [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_76009](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009), svobodnyy. - Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.

2. GOST R 54810-2011 Avtomobil`nye transportnye sredstva. Toplivnaya ekonomichnost`. Metody ispytaniy [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://docs.cntd.ru/document/1200093157> svobodnyy. - Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.

3. Kurganov V.M. Metodika normirovaniya material`nykh resursov dlya avtobusov // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - №1. - 2022. - S. 102-116.

4. Huertas J.I., Giraldo M., Quirama L.F., Daz J. Driving cycles based on fuel consumption // *Energies*. - 2018. - 11, 3064. - R. 125-142.
5. Gao J., Chen H., Li Y., Chen J., Zhang Y., Dave K., Huang Y. Fuel consumption and exhaust emissions of diesel vehicles in worldwide harmonized light vehicles test cycles and their sensitivities to eco-driving factors // *Energy conversion and management*. - № 196. - R. 605-613.
6. Moroz S.M. Tekhnologiya avtomaticheskogo individual'nogo normirovaniya raskhoda topliva dlya avtotransportnykh sredstv // *Gruzovik*. - 2019. - №3. - S. 11-15.
7. Kuznetsov V.N. Avtomatizatsiya rascheta norm raskhoda topliva na predpriyatiyakh APK // *Vestnik AGAU*. - 2019. - №1(171). - S. 164-169.
8. Yi S., Haoran Z., Xuan S., Fengjing S., Changying W., Yao L. GPS data in urban online ridehailing: A comparative analysis on fuel consumption and emissions // *Journal of cleaner production*. - 2019. - T. 227. - S. 495-505.
9. Perrotta F., Parry T., Neves L.C., Buckland T., Benbow E., Mesgarpour M. Verification of the HDM-4 fuel consumption model using a Big data approach: A UK case study // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. - №67. - R. 109-118.
10. Goryaev N.K., Habibullozoda H.H., Vavilova E.N. Sovershenstvovanie normirovaniya raskhoda topliva na transportnyu rabotu dlya mezhdugorodnykh perevozok // *Vestnik YUUGU*. - 2019. - T. 13. - №2. - S. 171-174.
11. Trofimov B.S. Metodika normirovaniya raskhodovaniya topliva dlya legkovykh avtomobiley v gorodskikh usloviyakh ekspluatatsii // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2022. - №4-1(79). - S. 13-22.
12. Zakharov N.S., Sapozhenkov N.O. Opredelenie optimal'noy periodichnosti zaryada avtomobil'nykh akkumulyatornykh batarey v zimniy period // *Materialy MNTK.: TTS*. - 2016. - S. 134-139.
13. Zakharov N.S., Sapozhenkov N.O. Modelirovanie protsessov formirovaniya urovnya zaryazhennosti avtomobil'nykh akkumulyatornykh batarey v zimniy period // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie*. - 2016. - №3(51). - S. 232-237.
14. Burkov V.N. Modeli upravleniya bezopasnost'yu. - M.: SINTEG, 2016. - 243 s.
15. Konev V.V., Merdanov Sh.M. Optimizatsiya teplovoy podgotovki gidroprivoda stroitel'no-dorozhnykh mashin // *Materialy NNPK: Neft' i gaz: tekhnologii i innovatsii* - 2020. - S. 194-196.
16. Shakirov I.F., Zakharov N.S. Matematicheskie modeli zakonmernostey vliyaniya faktorov na raskhod topliva spetsial'nykh avtomobiley // *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya*. - 2014. - №6. - S. 368-370.
17. Shakirov I.F., Zakharov N.S. Sistema formirovaniya raskhoda topliva snegochistitel'nymi avtomobilyami aeroportov [Elektronnyy resurs] / *Inzhenernyy vestnik Dona*. - №1. - 2015. - Rezhim dostupa: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2015/2825>.
18. Shakirov I.F. Formirovanie norm raskhoda topliva spetsial'nymi avtomobilyami [Elektronnyy resurs] / *Inzhenernyy vestnik Dona*. - №3. - 2015. - Rezhim dostupa: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/>.
19. Shakirov I.F. Ekonomicheskiiy effekt ot primeneniya metodiki rascheta norm raskhoda topliva spetsial'nymi avtomobilyami aeroportov pri rabote navesnogo oborudovaniya // *Nauchnoe obozrenie*. - 2015. - №16.
20. Subachev E.V. Raschiot plotnosti raspredeleniya protivogolodnogo reagenta odnoy forsunkoy aerodromnoy polivomoechnoy mashiny // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2022. - №4-1(79). - S. 48-54.

**Zakharov Nikolai Stepanovich**

Tyumen Industrial University  
Address: 625000, Russia, Tyumen, Volodarsky str., 38  
Doctor of technical sciences  
E-mail: zakharovns@tyuiu.ru

**Sapozhenkov Nikolai Olegovich**

Tyumen Industrial University  
Address: 625000, Russia, Tyumen, Volodarsky str., 38  
Candidate of technical sciences  
E-mail: sapozhenkovno@tyuiu.ru

**Shakirov Ivan Faimovich**

Tyumen Industrial University  
Address: 625000, Russia, Tyumen, Volodarsky str., 38  
Competitor of the department of car service and technological machines  
E-mail: ivansf@bk.ru

Научная статья

УДК 656.025.4

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-46-53

Е.Е. ВИТВИЦКИЙ, Р.Е. ШИПИЦЫНА

## **АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЛАНА ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ПО МАШИНЫМИ ОТПРАВКАМИ В ГОРОДАХ, СОЗДАННОГО ПРИ РЕШЕНИИ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

***Аннотация.** Рассмотрены результаты решения транспортной задачи линейного программирования, возможные ситуации решения задачи маршрутизации. Использован ситуационный подход к выполнению планов перевозок грузов, полученных методом совмещенных матриц. Сделан вывод о том, что полученный при решении транспортной задачи линейного программирования план перевозок в современной практике хозяйственной деятельности, когда все участники транспортного процесса разной формы собственности, выполнить не представляется возможным, в рамках рассмотренных форм и методов организации перевозок грузов.*

***Ключевые слова:** помашинные отправки, транспортная задача линейного программирования, метод совмещенных матриц, ситуационный подход, маятниковые маршруты, кольцевые маршруты, формы организации перевозок грузов, методы организации централизованных перевозок*

### **Введение**

Расстояние перевозки, от величины которого напрямую зависит количество транспортной работы, измеряемой в тонно-километрах, является одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на эффективность использования автотранспортных средств [15].

Изучив ряд исследований и научных работ [1, 2, 7, 16, 29], можно сказать, что для народного хозяйства нашей страны будет тем лучше, чем меньше на ее территориях будет выполняться транспортной продукции, измеряемой в тонно-километрах. Связано это прежде всего с тем, что при сокращении транспортной работы снижаются транспортные затраты и потребность в автотранспортных средствах.

Одно из перспективных направлений развития науки и технологий – «Транспорт» способно решать проблемы, затрагивающие население нашей страны, прежде всего – социально-экономические [17]. Это связано с двумя основными аспектами деятельности автомобильного грузового транспорта:

во-первых, затраты на перевозку грузов отражаются на конечной стоимости продукции, а потребитель (население) заинтересован в более низкой стоимости;

во-вторых, экологический аспект – выбросы парниковых газов от деятельности автотранспорта, так называемый «углеродный след», напрямую влияют на здоровье населения [11, 16, 27].

### **Материал и методы**

Для решения указанных социально-экономических проблем следует обратиться к методам оптимизации планирования перевозок. Конечной целью оптимизации будут выступать два аспекта: сокращение углеродного следа от деятельности автомобильного транспорта и снижение затрат на перевозку грузов в интересах населения [10, 13, 14].

Методы и методология написания настоящей работы включают положения теории грузовых автомобильных перевозок [1, 2, 5], экономико-математических методов на транспорте [9, 10, 12], научные труды по оптимизации процессов перевозок грузов [3, 12, 13], а также ситуационный подход к управлению автомобильными перевозками [12, 20, 21]. Методы исследования: наблюдение, измерение, сравнение, анализ.

**Теория / Расчет**

Основной экономико-математической моделью для решения задач планирования и организации грузовых автомобильных перевозок может служить транспортная задача линейного программирования (далее – ТЗЛП). Классическая формулировка ТЗЛП звучит так [6]: «имеется  $m$  пунктов производства с фиксированными ресурсами груза  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ );  $n$  пунктов назначения с заданными объемами потребности в данном грузе  $b_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ); при этом предполагается, что суммарный объем спроса в грузе равен суммарному объему предложения в грузе» [6], т.е. задача имеет закрытую модель (выполняется равенство 1).

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \tag{1}$$

Транспортная сеть связывает все пункты производства и пункты назначения. Известны удельные показатели эффективности  $C_{ij}$  использования каждой транспортной коммуникации. Необходима организация системы перевозок таким образом, чтобы обеспечивалось полное удовлетворение потребностей с наибольшим эффектом [6, 15]. В ТЗЛП показатель эффективности может быть разным. В рамках данного примера примем транспортную работу, выражаемую в тонно-километрах (далее т·км), она и будет являться критерием оптимальности.

Ранее авторами был проведен анализ трудов по вопросу представленного в различных источниках алгоритма решения ТЗЛП. Были рассмотрены труды Геронимуса Б.Л., Николина В.И., Синицкого А.З., Бобарыкина Б.А., Палий И.А., Бродецкого Г.Л., Гусева Д.А., Алесинской Т.В., Леонова Н.Л. и других [23]. Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что суть решения транспортных задач построена на двух основных этапах:

Первый этап: построение любым известным методом начального опорного плана груженых ездов (далее – опорный план);

Второй этап: путем последовательного улучшения опорного плана построение любым известным методом оптимального плана возврата порожних автомобилей (далее – оптимальный план) [6, 7, 16].

Для решения задачи маршрутизации применяется метод совмещенных матриц [10, 16, 22].

Для примера возьмем следующие исходные данные задачи: «От трех грузоотправителей ( $A_i, i = 1,2,3$ ) необходимо перевезти транспортно однородный груз пяти грузополучателям ( $B_j, j = 1,2,3,4,5$ ). Запасы груза у грузоотправителей составляют  $a_i$  т ( $A_1 = 320, A_2 = 280, A_3 = 250$ ), потребность груза у грузополучателей составляет  $b_j$  т ( $B_1=150, B_2=140, B_3=110, B_4=230, B_5=220$ ). Транспортная сеть связывает все пункты между собой, при этом известны удельные показатели эффективности использования каждой транспортной коммуникации – расстояния перевозки груза представлены (матрица 2).

$$C = \begin{pmatrix} 20 & 29 & 6 \\ 23 & 15 & 11 \\ 20 & 16 & 10 \\ 15 & 19 & 9 \\ 24 & 29 & 8 \end{pmatrix} \tag{2}$$

Принимаем, что  $x_{ij}$  – количество груза, т, которое перевозится от грузоотправителя  $A_i$  грузополучателю  $B_j$ . Задача заключается в минимизации транспортной работы. Математическая модель задачи (функция 3) [6, 28]:

$$P = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \tag{3}$$

система ограничений (4,5,6) [6, 15]:

$$\sum_{j=1}^5 x_{ij} = a_i \quad (i = 1,2,3); \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^3 x_{ij} = b_j \quad (j = 1,2,3,4,5); \tag{5}$$

$$x_{ij} \geq 0. \tag{6}$$

Поскольку суммарные запасы груза у поставщиков ( $320+280+250=850$  т) равны суммарным потребностям груза у грузополучателей ( $150+140+110+230+220=850$  т), модель ТЗЛП является закрытой (исходя из равенства 1) [15]. Ранее авторами были выполнены расчеты и опубликованы работы на основе условий задачи и исходных данных, выше представленных в настоящей работе [24-26]. В работах [5, 11] указано, что метод совмещенных матриц является одним из распространенных методов маршрутизации, суть которого заключается в том, что «вначале выявляют маятниковые маршруты с обратным негруженным пробегом, а остальные объединяют в кольцевые маршруты» [11]. Для этого в матрицу опорного плана (цифры которого в совмещенной матрице представляют без скобок) вписывают матрицу оптимального плана (цифры которого в матрице совмещенных планов представляют в скобках). Наличие грузов у поставщиков, в тоннах, указывается в самой нижней строке матрицы совмещенных планов. Спрос грузополучателей, в тоннах, указывается в крайнем правом столбце матрицы совмещенных планов. Также в исследованиях говорится, что «наиболее эффективным оказывается подход в управлении, который основан на учете реальной ситуации и возможности принятия, адекватных этой ситуации, решений» [8, 21]. Выполним рассмотрение ситуаций, которые получаются в результате решения задачи маршрутизации – транспортных ситуаций. Дальнейшее рассмотрение выполним на примере одного из поставщиков. Пример матрицы совмещенных планов А представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Пример матрицы совмещенных планов А

Грузополучатели	Грузоотправители			Потребности груза, т
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	
B <sub>1</sub>	150 <b>20</b> (120)	<b>29</b>	<b>6</b> (30)	150
B <sub>2</sub>	140 <b>23</b>	<b>15</b> (140)	<b>11</b>	140
B <sub>3</sub>	30 <b>20</b>	80 <b>16</b> (110)	<b>10</b>	110
B <sub>4</sub>	<b>15</b> (200)	200 <b>19</b> (30)	30 <b>9</b>	230
B <sub>5</sub>	<b>24</b>	<b>29</b>	220 <b>8</b> (220)	220
Запасы груза, т	320	280	250	850

Каждому поставщику соответствует один отдельный столбец матрицы совмещенных планов.

Возможные наблюдаемые ситуации в этом столбце следующие:

1) единственная цифра в одной из клеток столбца (в скобках или без скобок), значение которой равно наличию груза у поставщика, указанного в нижней строке матрицы;

2) вторая ситуация, когда в столбце несколько цифр – от двух и более, возможные варианты:

2.1 две клетки, в которых указаны одинаковые цифры, сумма цифр равна наличию грузов у поставщика;

2.2 три клетки в столбце заняты цифрами, которые не равны между собой, но сумма цифр этих клеток равна наличию грузов у поставщика.

Ситуации, в которой имелся бы столбец, в котором нет ни одной загруженной клетки – полностью пустой столбец, быть не может, так как в таком случае грузы поставщика будут не вывезены.

Дальнейшее рассмотрение выполним на примере одного из грузополучателей, которому соответствует одна из строк матрицы. Пример матрицы совмещенных планов Б представлен в таблице 2.

Наблюдаемые ситуации в этой строке могут быть следующие:

1) единственная цифра в одной из клеток строки, указанная в скобках или без, значение в которой равно потребности в грузах у грузополучателя;

2) в строке несколько цифр, указанных, в скобках или без, (от двух и более). Возможные вариации в этой ситуации:

2.1 в строке имеется две клетки, занятые цифрами, указанными в скобках или без, где указаны одинаковые цифры, сумма которых равна потребности в грузах у грузополучателя;

2.2 в строке имеется три клетки, занятые цифрами, указанными в скобках или без, которые не равны между собой, но сумма цифр соответствует потребности в грузе у грузополучателя.

Ситуации, в которой имелась бы одна строка, в которой нет ни одной загруженной клетки – полностью пустая строка, быть не может, так как в таком случае спрос грузополучателя не будет удовлетворен.

Таблица 2 – Пример матрицы совмещенных планов Б

Грузополучатели	Грузоотправители			Потребности груза, т
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	
Б <sub>1</sub>	20 (120)	29	150 6 (30)	150
Б <sub>2</sub>	23	140 15 (140)	11	140
Б <sub>3</sub>	90 20	20 16 (110)	10	110
Б <sub>4</sub>	230 15 (200)	19 (30)	9	230
Б <sub>5</sub>	24	120 29	100 8 (220)	220
Запасы груза, т	320	280	250	850

Дальнейшее рассмотрение выполним на примере матрицы совмещенных планов в целом (табл. 3).

Таблица 3 – Пример матрицы совмещенных планов В

Грузополучатели	Грузоотправители			Потребности груза, т
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	
Б <sub>1</sub>	20 (120)	29	150 6 (30)	150
Б <sub>2</sub>	23	140 15 (140)	11	140
Б <sub>3</sub>	20	110 16 (110)	10	110
Б <sub>4</sub>	230 15 (200)	19 (30)	9	230
Б <sub>5</sub>	90 24	30 29	100 8 (220)	220
Запасы груза, т	320	280	250	850

Возможны следующие ситуации:

Ситуация 1. Заполнены несколько клеток, в каждой из которых указано по две цифры (в скобках и без скобок), и они равны по величине (несколько клеток, подчиняющихся правилу экономико-математического метода  $m+n-1$  [10]);

Ситуация 2. Заполнены несколько клеток, в части из которых указано по две цифры (в скобках и без скобок), а в части – указано только по одной цифре (либо в скобках, либо без скобок).

В данной ситуации вариации могут быть следующие:

Ситуация 2.1) В клетке, где две цифры – цифра без скобок больше, чем цифра в скобках;

Ситуация 2.2) В клетке, где две цифры – цифра без скобок меньше, чем цифра в скобках.

Согласно ряду работ [1, 4, 5, 10] в клетке, где цифры (в скобках и без скобок) получен маятниковый маршрут с обратным негруженным пробегом, плановый объем перевозок определяется меньшей по величине цифрой в загруженной клетке.

После выборки маятниковых маршрутов с обратным негруженным пробегом в матрице наблюдаются загруженные клетки, в которых указано по одной цифре (либо в скобках, либо без скобок). В матрице производят построение многозвенных кольцевых маршрутов согласно соответствующей процедуре [5, 10].

Далее, согласно монографии «Проектирование автотранспортных систем доставки грузов» [15], необходимо проработать организацию выполнения разработанного плана перевозок.

Организация выполнения разработанного плана перевозок может быть реализована:

Первая форма организации перевозок – «самовывоз» [1, 6, 21].

Каждый грузополучатель самостоятельно едет на своем автомобиле к грузоотправителю и получает свой объем груза. В связи с этим кольцевые маршруты исполнены быть не могут, и они распадаются на маятниковые, с обратным негруженным пробегом.

Для рассмотренной ситуации, например 2, когда клетка загружена единственная, за грузом приедет один грузополучатель. Для всех остальных (2.1, 2.2, например матрица Б) к грузоотправителю приедет несколько грузополучателей и самоорганизуется очередь, появится время ожидания погрузки, причиной которой будет являться непредсказуемый характер прибытия автомобилей грузополучателей к посту погрузки: неизвестно, когда приедет грузополучатель, также неизвестны параметры его подвижного состава (автотранспортного средства), неизвестен размер отправки, груз не готов и т.д.

При этом возможны варианты:

1) в случае, если грузоподъемность подвижного состава меньше, чем потребность в грузе, выраженная в тоннах, потребуются повторные ездки;

2) в случае, если грузоподъемность подвижного состава больше или равна потребности в грузе, то возможно:

а) выполнение плана без повторных ездки (полное использование грузоподъемности);

б) грузополучатель совершает ездку с неполным использованием грузоподъемности подвижного состава (ездку совершает, используя полупустой подвижной состав);

3) также может наблюдаться вариант, что грузополучатель прибыл за грузом и уедет ни с чем, причинами могут быть:

а) отсутствие необходимого объема груза у поставщика (или груз не готов);

б) очередь, время ожидания которой больше, чем рабочий день поста погрузки.

Другой вариант – организация выполнения плана перевозок может быть в рамках договора на перевозку груза, но согласно Правилам перевозки грузов [14] договор заключается между перевозчиком и грузоотправителем, а грузоотправителей в постановке задачи несколько и все они разной формы собственности. Тогда, поскольку целью любого коммерческого предприятия является получение прибыли, то, каждый грузоотправитель, будет отпускать груз изолированно, и независимо от других грузоотправителей, поэтому можно сделать вывод о том, что кольцевые маршруты также организовать невозможно.

### **Результаты и обсуждение.**

В адрес каждого грузополучателя автотранспортная организация определит грузоподъемность и количество подвижного состава по методу изолированного планирования [3] (в расчетах плана перевозок очередь не предполагается, а потому не учтена!) и отправит их к грузоотправителю, отсюда будет наблюдаться простой в ожидании погрузки. У грузоотправителя может быть несколько складов, но согласно сложившимся правилам хозяйственной практики на каждом складе материально ответственное лицо (кладовщик) одно и работает с каждым прибывшим автомобилем грузополучателя отдельно, поэтому независимо от количества мест установки автомобилей под погрузку, отгрузка будет осуществляться в рамках одного единственного поста. Один автомобиль будет грузиться, а остальные ждать, пока погрузится первый – практика такова, что пока кладовщик не отработает с одним, он не приступит к работе со следующим клиентом. Отсюда возможно невыполнение плана, рассчитанного по методу изолированного планирования.

2 форма организации перевозок грузов – централизованные перевозки, реализованная методом, например:

а) транспортный метод (при условии: на обслуживаемой территории одно автотранспортное предприятие, которое согласует и реализует интересы грузоотправителей и грузополучателей). Однако, если будет применяться изолированное планирование (диспетчер счита-

ет план перевозок по каждому клиенту отдельно от других), то также возможна ситуация невыполнения плана, необходим расчет плана в автотранспортной системе перевозок грузов (АТСПГ), что сегодня невозможно в практике крупных городов (например, города Омска), где перевозчиков не один десяток, все участники транспортного процесса разной формы собственности и действуют каждый в своих интересах. Вывод – транспортный метод реализовать невозможно.

б) отправительский метод (управление производится грузоотправителем, им должен рассчитываться план перевозок: который также может считаться по методу изолированного планирования [3] и тогда аналогично предыдущей ситуации, при организации перевозок «самовывоз», может организоваться очередь, что может также привести к невозможности выполнения плана перевозок. Другой вариант – план перевозок может рассчитываться в рамках проектирования АТСПГ [7, 16], с каждого поста погрузки отдельно, методом единовременного планирования [4], при централизованных перевозках.

Известен еще один метод организации централизованных перевозок грузов – отраслевой, но в рамках данного примера его нет, поскольку на уровне Омского региона он не реализуется (нет структуры).

### **Вывод**

Таким образом, показано, что сформулированные ситуации, полученные при решении ТЗЛП, результаты их соотнесения с формами и методами организации перевозок грузов в городах позволяют сделать вывод о том, практика организации выполнения плана перевозок грузов помашинными отправками в городах не позволяет реализовать результаты применения ТЗЛП из-за «самовывоза» или рассогласованности интересов участников транспортного процесса, поскольку все грузоотправители, грузополучатели и перевозчики разной формы собственности – имеют разные интересы.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Айтбагина Э.Р., Витвицкий Е.Е. Развитие метода организации централизованных перевозок строительных грузов в городах автомобильным транспортом: монография. – Омск: СибАДИ, 2018.
2. Афанасьев Л.Л., Цукерберг С.М. Автомобильные перевозки. – М.: Транспорт, 1973. – 320 с.
3. Витвицкий Е.Е., Федосеев Е.С. Модель функционирования комплекса малых автотранспортных систем при нестабильной работе автотранспортных средств // Серия конференций ИОР: Материаловедение и инженерия. – 2019. – Т. 560 (1). - №012205. - DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012205.
4. Войтенков С.С., Витвицкий Е.Е. Совершенствование оперативного планирования перевозок грузов помашинными отправками в городах: Монография. – Омск: СибАДИ, 2013. – 174 с.
5. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киев: Вища шк., 1986. - 447 с.
6. Геронимус Б.Л. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте: Учебник для техникумов. – 2-е изд, перераб. и допол. – М.: Транспорт, 1982. - 192 с.
7. Николин В.И., Витвицкий Е.Е., Мочалин С.М. Грузовые автомобильные перевозки: Монография. - 2-е изд. - Омск: Вариант-Сибирь, 2004. - 480 с.
8. Грязнов М.В. Обеспечение надежности функционирования транспортных систем доставки автомобильным транспортом (на примере Уральского региона): дис. ... канд. техн. наук. – М., 2014. – 267 с.
9. Гукетлев Ю.Х., Гукетлев Э.Ю., Ткачева Я.С. Оптимальное распределение сезонного дополнительного пассажирского транспорта в летний период времени в городах юга России // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3-1(78). – С. 50-57. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-50-57.
10. Житков В.А., Ким К.В. Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок. – Москва: Транспорт, 1982. – 184 с.
11. Кожин А.П., Мезенцев В.Н. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками. - М.: Транспорт, 1994. - 304 с.
12. Курганов В.М., Грязнов М.В., Тимофеев Е.А. Оптимизация перевозок живой птицы автомобильным транспортом // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – №3(66). – С. 105-113.
13. Терентьев А.В., Арифиллин И.В., Егоров В.Д., Андреев А.Ю. Математические модели принятия решений в интеллектуальных транспортных системах // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – №1(64). – С. 106-113.
14. Общие правила перевозок грузов автомобильным транспортом; утв. Минавтотрансом РСФСР 30.07.1971. – М.: Транспорт. – 127 с.
15. Палий И.А. Введение в линейное программирование: Учеб. пособие. - Омск: СибАДИ, 2007. – 200 с.
16. Проектирование автотранспортных систем доставки грузов / Николин В.И., Мочалин С.М., Витвицкий Е.Е., Николин И.В.; Под ред. проф. В.И.Николина. – Омск: СибАДИ, 2001. – 184 с.
17. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года; утв. Правительством РФ // НПП «КонсультантПлюс».

20. Рассоха В.И. Ситуационное управление автотранспортными системами. Часть 1. Системная эффективность эксплуатации автомобильного транспорта // ВЕСТНИК Оренбургского государственного университета. – 2009. – №9. – С. 145-150.
21. Рассоха В.И. Ситуационное управление автотранспортными системамию Часть 2. Синтез системы управления // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – №10(104). – С. 144-151.
22. Рябчинский А.И., Гудков В.А., Кравченко Е.А. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса: Учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2013. - 256 с.
23. Шипицына Р.Е. Об алгоритме решения транспортной задачи линейного программирования / Под научной редакцией Е.Е. Витвицкого // Техника и технологии наземного транспорта: Сборник трудов аспирантов (с международным участием). – Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). - 2022. – С. 70-75.
24. Шипицына Р.Е., Витвицкий Е.Е. Сравнение результатов применения методов решения транспортной задачи линейного программирования // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2021. – №2. – С. 6-23. – DOI 10.51955/2312-1327\_2021\_2\_6.
25. Шипицына Р.Е., Витвицкий Е.Е. Сравнение удобства использования программных продуктов при решении транспортной задачи линейного программирования: LPSolve IDE И Microsoft Excel // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сборник материалов V Национальной научно-практической конференции. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). - 2022. – С. 250-254.
26. Шипицына Р.Е. Современная практика применения транспортной задачи линейного программирования при планировании перевозок грузов // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, приуроченной к проведению в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). - 2022. – С. 240-244.
27. Яркина В.Е., Яркин Е.К. Постановка задачи оптимизации маршрутов грузовых мультимодальных перевозок // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-2(80). – С. 57-63. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-57-63.
28. Dantzig G. Linear Programming and Extensions, Princeton University Press, 1963. – 366 P.
29. Sarder M. Logistics transportation problems with linear programming. Logistics Transportation Systems, 2021. - P. 137–167. - doi:10.1016/b978-0-12-815974-3.00006-x.

**Витвицкий Евгений Евгеньевич**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)  
Адрес: 644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5  
Д.т.н., профессор кафедры Организация перевозок и безопасность движения  
E-mail: vitvitsky\_ee@mail.ru

**Шипицына Роксана Еноковна**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)  
Адрес: 644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5  
Аспирант  
E-mail: roxy4k@mail.ru

---

E.E. VITVITSKY, R.E. SHIPITSYNA

**ASPECTS OF ORGANIZING THE IMPLEMENTATION OF THE PLAN OF CARGO TRANSPORTATION BY MACHINE DELIVERY IN CITIES, CREATED WHEN SOLVING THE TRANSPORT PROBLEM OF LINEAR PROGRAMMING**

***Abstract.** The results of solving the transport problem of linear programming, as well as possible situations for solving the routing problem, are considered. A situational approach to the implementation of plans for the transportation of goods obtained by the method of combined matrices was used. It is concluded that the transportation plan obtained by solving the transport problem of linear programming in modern practice of economic activity, when participants in the transport process have different forms of ownership, cannot be organized within the framework of the methods of organizing cargo transportation considered in this paper.*

***Keywords:** machine-by-machine dispatches, transport problem of linear programming, method of combined matrices, situational approach, pendulum routes, ring routes, forms of organization of cargo transportation, methods of organizing centralized transportation*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Aytbagina E.R., Vitvitskiy E.E. Razvitie metoda organizatsii tsentralizovannykh perevozok stroitel`nykh gruzov v gorodakh avtomobil`nym transportom: monografiya. - Омск: SibADI, 2018.
2. Afanas`ev L.L., Tsukerberg S.M. Avtomobil`nye perevozki. - М.: Transport, 1973. - 320 s.

3. Vitvitskiy E.E., Fedoseenkova E.S. Model` funktsionirovaniya kompleksa malykh avtotransportnykh sistem pri nestabil`noy rabote avtotransportnykh sredstv // Seriya konferentsiy IOP: Materialovedenie i inzheneriya. - 2019. - T. 560 (1). - №012205. - DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012205.
4. Voytenkov S.S., Vitvitskiy E.E. Sovershenstvovanie operativnogo planirovaniya perevozkov gruzov po mashinnyimi otpravkami v gorodakh: Monografiya. - Omsk: SibADI, 2013. - 174 s.
5. Vorkut A.I. Gruzovye avtomobil`nye perevozki. - 2-e izd., pererab. i dop. - Kiev: Vishcha shk., 1986. - 447 s.
6. Geronimus B.L. Ekonomiko-matematicheskie metody v planirovanii na avtomobil`nom transporte: Uchebnyk dlya tekhnikumov. - 2-e izd, pererab. i dopol. - M.: Transport, 1982. - 192 s.
7. Nikolin V.I., Vitvitskiy E.E., Mochalin S.M. Gruzovye avtomobil`nye perevozki: Monografiya. - 2-e izd. - Omsk: Variant-Sibir`, 2004. - 480 s.
8. Gryaznov M.V. Obespechenie nadezhnosti funktsionirovaniya transportnykh sistem dostavki avtomobil`nym transportom (na primere Ural`skogo regiona): dis. ... kand. tekhn. nauk. - M., 2014. - 267 s.
9. Guketlev Yu.H., Guketlev E.YU., Tkacheva YA.S. Optimal`noe raspredelenie sezonnogo dopolnitel`nogo passazhirskogo transporta v letniy period vremeni v gorodakh yuga Rossii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-1(78). - S. 50-57. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-50-57.
10. ZHitkov V.A., Kim K.V. Metody operativnogo planirovaniya gruzovykh avtomobil`nykh perevozkov. - Moskva: Transport, 1982. - 184 s.
11. Kozhin A.P., Mezentsev V.N. Matematicheskie metody v planirovanii i upravlenii gruzovymi avtomobil`nymi perevozkami. - M.: Transport, 1994. - 304 s.
12. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Timofeev E.A. Optimizatsiya perevozkov zhivoy ptitsy avtomobil`nym transportom // Vestnik Moskovskogo avtomobil`no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). - 2021. - №3(66). - S. 105-113.
13. Terent`ev A.V., Arifullin I.V., Egorov V.D., Andreev A.YU. Matematicheskie modeli prinyatiya resheniy v intellektual`nykh transportnykh sistemakh // Vestnik Moskovskogo avtomobil`no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). - 2021. - №1(64). - S. 106-113.
14. Obshchie pravila perevozkov gruzov avtomobil`nym transportom; utv. Minavtotransom RSFSR 30.07.1971. - M.: Transport. - 127 s.
15. Paliy I.A. Vvedenie v lineynoe programmirovaniye: Ucheb. posobie. - Omsk: SibADI, 2007. - 200 s.
16. Proektirovaniye avtotransportnykh sistem dostavki gruzov / Nikolin V.I., Mochalin S.M., Vitvitskiy E.E., Nikolin I.V.; Pod red. prof. V.I.Nikolina. - Omsk: SibADI, 2001. - 184 s.
17. Prognoz nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda; utv. Pravitel`stvom RF // NPP «Konsul`tantPlyus».
20. Rassokha V.I. Situatsionnoe upravlenie avtotransportnymi sistemami. Chast` 1. Sistemnaya effektivnost` ekspluatatsii avtomobil`nogo transporta // VESTNIK Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2009. - №9. - S. 145-150.
21. Rassokha V.I. Situatsionnoe upravlenie avtotransportnymi sistemamiyu Chast` 2. Sintez sistemy upravleniya // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2009. - №10(104). - S. 144-151.
22. Ryabchinskiy A.I., Gudkov V.A., Kravchenko E.A. Organizatsiya perevozochnykh uslug i bezopasnost` transportnogo protsessa: Uchebnyk dlya stud. uchrezhdeniy vyssh. prof. obrazovaniya. - 2-e izd., ster. - M.: Akademiya, 2013. - 256 s.
23. Shipitsyna R.E. Ob algoritme resheniya transportnoy zadachi lineynogo programmirovaniya / Pod nauchnoy redaktsiyey E.E. Vitvitskogo // Tekhnika i tekhnologii nazemnogo transporta: Sbornik trudov aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem). - Omsk : Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil`no-dorozhnyy universitet (SibADI). - 2022. - S. 70-75.
24. Shipitsyna R.E., Vitvitskiy E.E. Sravnenie rezul`tatov primeneniya metodov resheniya transportnoy zadachi lineynogo programmirovaniya // Crede Experto: transport, obshchestvo, obrazovanie, yazyk. - 2021. - №2. - S. 6-23. - DOI 10.51955/2312-1327\_2021\_2\_6.
25. Shipitsyna R.E., Vitvitskiy E.E. Sravnenie udobstva ispol`zovaniya programmnykh produktov pri reshenii transportnoy zadachi lineynogo programmirovaniya: LPSolve IDE I Microsoft Excel // Obrazovanie. Transport. Innovatsii. Stroitel`stvo: Sbornik materialov V Natsional`noy nauchno-prakticheskoy konfe-rentsii. - Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil`no-dorozhnyy universitet (SibADI). - 2022. - S. 250-254.
26. Shipitsyna R.E. Sovremennaya praktika primeneniya transportnoy zadachi lineynogo programmirovaniya pri planirovanii perevozkov gruzov // Arkhitekturno-stroitel`nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii: Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, priurochennoy k provedeniyu v Rossiyskoy Federatsii Desyatiletiya nauki i tekhnologii. - Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil`no-dorozhnyy universitet (SibADI). - 2022. - S. 240-244.
27. Yarkina V.E., Yarkin E.K. Postanovka zadachi optimizatsii marshrutov gruzovykh mul`timodal`nykh perevozkov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-2(80). - S. 57-63. - DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-57-63.
28. Dantzig G. Linear Programming and Extensions, Princeton University Press, 1963. - 366 R.
29. Sarder M. Logistics transportation problems with linear programming. Logistics Transportation Systems, 2021. - R. 137-167. - doi:10.1016/b978-0-12-815974-3.00006-x.

**Vitvitskiy Evgeniy Evgenievich**

The Siberian State Automobile and Highway University  
Address: 644080, Russia, Omsk, peace Avenue, 5  
Doctor of technical sciences  
E-mail: vitvitskiy\_ee@mail.ru

**Shipitsyna Roxana Enokovna**

The Siberian State Automobile and Highway University  
Address: 644080, Russia, Omsk, peace Avenue, 5  
Graduate student  
E-mail: roxy4k@mail.ru

Научная статья

УДК 656.025

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-54-60

Т.А. ВЕТРОВА

## ДИНАМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЕТЬЮ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

***Аннотация.** Не смотря на большое количество работ в области динамического управления сетью городского пассажирского транспорта, на данный момент не существует методик динамического управления маршрутной транспортной сетью с учетом фактического спроса и возможностью перестройки маршрутов в режиме реального времени. Цель исследования: разработка методики управления городским пассажирским транспортом с учетом динамического спроса на перевозку. В работе использованы эвристические методы научного исследования и метод формализации. Для реализации предложенной автором методики разработан алгоритм принятия решений для динамического управления сетью городского пассажирского транспорта. Он представлен в логическом и формализованном виде. Полученные результаты исследования являются единственными в своем роде. Предложенные автором решения носят универсальный характер и могут применяться для сетей с различными параметрами.*

***Ключевые слова:** оперативная маршрутизация, общественный транспорт, оптимальный маршрут, алгоритм, пассажирские перевозки*

### **Введение**

Основная проблема классических систем управления общественным транспортом – неспособность перепланировать транспортные операции с учетом динамических данных.

Не смотря на большое количество работ в области динамического управления городским пассажирским транспортом (ГПТ), наблюдается пробел в вопросе оперативного учета и реакции на колебания спроса. Чаще всего исследователи рассматривают:

- изменение условий работы маршрута по сезонам, дням недели, характерным периодам (Белокуров В.П., Мотузко Д.А., Артемов А.Ю.);
- создание алгоритмов и архитектуры приложений для контроля за работой транспортной сети (Улитич А.Н., Зубков И.В., Шелковый И.В., Шелковый О.В., Кравченко А.П., Пуха В.В.);
- совершенствование методов идентификации местоположения и времени движения маршрутных транспортных средств (Шавыраа Ч.Д., Погребной В.Ю., Сердюков А.В., Бредихин А.А.);
- оперативное информирование участников движения о состоянии транспортной сети (Кирикова М.А., Мороз С.М., Приходько В.М., Ременцов А.Н.).

Годфри и Пауэлл [1], Бент и Ван Хентенрик [2-3] и др. для решения динамичных задач маршрутизации в реальном времени использовали «упреждающие» подходы. Они пытались включить вероятностные характеристики будущих событий в процесс принятия решений.

Также «упреждающий» подход применяют Костюк В.П. и Хействер А.А [4]. При выборе рациональных маршрутов движения общественного транспорта в адаптивной системе они предлагают использовать нейросетевые модели и генетические алгоритмы. Такой подход позволит спрогнозировать состояние транспортной сети на заданных временных срезах. Но, даже не смотря на высокую точность прогноза, он не всегда отражает реальную ситуацию в сети.

Авторы Cheung, Choy, Li, Shi и Tang предлагают математическую модель динамической системы маршрутизации транспортных средств, которая предполагает наличие статического элемента (задача маршрутизации транспортных средств до начала ежедневной работы) и динамического элемента (динамические изменения маршрута в течение дня при поступлении новой информации).

Тимеряев Т.В. [5] разработал алгоритм поиска оптимального пути в транспортных сетях большой размерности с определением оптимальных расстояний между всеми парами узлов сети, что позволяет решать задачи маршрутизации в реальном времени. Данная методика основана на метрических характеристиках транспортных сетей и не учитывает динамическое изменение спроса на перевозки.

Многие ученые говорят о необходимости внедрения динамического управления маршрутами общественного транспорта, указывая на возможность нечеткого закрепления ТС

(транспортных средств) за маршрутами, например Жук А.Е. [6]. Но, в настоящее время динамическое управление маршрутами общественного транспорта в основном рассматривается с точки зрения построения отдельных маршрутов и оперативного управления существующей стационарной сетью.

Анализ отечественной и зарубежной литературы позволяет сделать вывод о том, что на данный момент не существует исследования, которое содержит разработки для осуществления динамического управления маршрутной транспортной сетью с учетом текущего спроса и возможностью перестройки маршрутов.

Автор предлагает методику динамического управления городскими пассажирскими перевозками с включением дополнительного активного участника системы (пассажира), что позволит эффективно распределить подвижной состав по сети и организовать его надлежащую работу в соответствии с реальным спросом [7].

#### **Материал и методы**

Цель исследования: разработка методики управления городским пассажирским транспортом с учетом динамического спроса на перевозку.

Задачи:

- 1) сформировать теоретические основы функционирования сети ГПТ с учетом стационарной и динамической составляющих;
- 2) установить порядок использования ПС с других маршрутов;
- 3) разработать алгоритм принятия решений для динамического управления сетью ГПТ.

В работе использованы эвристические методы научного исследования. Необходимость их применения продиктована отсутствием четкого предметного описания и математической формализации предмета изучения. Данные методы основаны на профессиональном опыте и творческом мышлении автора работы.

Для точного отображения полученного содержательного знания в знаково-символическом виде использован метод формализации. Он стал основой алгоритмизации сгенерированной эвристической методики динамического управления общественным транспортом.

#### **Теория / Расчет**

Предлагаемая автором методика реализуется в существующей сети городского пассажирского транспорта. По маршрутам следуют рейсовые автобусы, численность которых определена по классическим методам исходя из значений пассажиропотока. Далее представлены операции, касающиеся учета динамического спроса (не осуществляются в данный момент).

Каждое утро одновременно с моментом начала работы сети происходит определение количества и направлений движения пассажиров. Обновление этих данных осуществляется в режиме реального времени до момента окончания работы сети. На основании полученной информации осуществляется динамическое управление сетью ГПТ.

Обобщенная методика управления городским пассажирским транспортом с учетом динамического спроса на перевозку:

- 1) определяется количество пассажиров на остановочном пункте и их маршрут движения;
- 2) определяется через какое время и какой заполненности прибудет ближайший автобус, следующий по маршруту на данный ОП и обеспечивающий перевозку данной подгруппы пассажиров;
- 3) оценивается превышено ли нормативное время ожидания пассажирами рассматриваемого рейсового автобуса;
- 4) оценивается весь ли спрос будет удовлетворен данным рейсовым ПС;
- 5) В случае превышения нормативного времени ожидания либо нехватки свободных мест производится расчет показателей для оценки альтернативных вариантов перевозки пассажиров (переброс автобуса с другого маршрута или использование резервного ПС);
- б) выполняется проверка на соответствие времени ожидания ПС в альтернативных вариантах нормативному значению и выбор наилучшего из них;
- 7) выполняется сравнение потерь времени пассажиров, ожидающих перевозки на данном ОП и потерь времени пассажиров с альтернативного маршрута;
- 8) определяется рентабельна ли отправка резервного ПС (по минимально допустимому коэффициенту наполнения автобуса);
- 9) Принимается оперативное диспетчерское решение из вариантов «Ничего не предпринимать», «Отправка автобуса с соседнего маршрута», «Отправка резервного автобуса».

Если для подвоза пассажиров перенаправлен автобус с соседнего маршрута, необходимо соблюдение ряда условий:

- 1) прохождение всех ОП собственного маршрута;
- 2) отклонение от заданного времени рейса не более допустимого (3 минуты для городских маршрутов);
- 3) общие потери времени пассажиров, находящихся в перенаправленном автобусе меньше потерь времени пассажиров на ожидание рейсового автобуса.

Возможность использования на определенных участках сети автобуса с другого маршрута определяется заранее, до начала работы системы (будет рассмотрена в следующих работах автора).

Для реализации предложенной методики автором разработан алгоритм принятия решений для динамического управления сетью ГПТ. В данном исследовании предложен алгоритм, ориентированный на один остановочный пункт и одну подгруппу пассажиров, следующих по одному подмаршруту [8].

На рисунке 1 представлен логический алгоритм принятия решений, а на рисунке 2 – формализованный.

Условные обозначения, представленные на рисунке 2:

- $t_{ож}^н$  – нормативное время ожидания автобуса для данного ОП, мин;
- $t_{ож}^ф$  – фактическое время ожидания автобуса, следующего по маршруту, мин;
- $t_{ож}^{ф'}$  – фактическое время ожидания автобуса, перенаправленного с соседнего маршрута, мин;
- $t_{ож}^{ф''}$  – фактическое время ожидания резервного автобуса, мин;
- $t_{дв}$  – время движения автобуса, следующего по маршруту до данного ОП, мин;
- $t_{дв}'$  – время движения автобуса с соседнего маршрута до данного ОП, мин;
- $t_{дв}''$  – время движения резервного автобуса до данного ОП, мин;
- $t_{дв}^{доп}$  – дополнительное время движения автобуса с соседнего маршрута до данного ОП, мин;
- $t_{пр}$  – время простоя на промежуточных ОП рейсового автобуса, мин;
- $t_{пр}'$  – время простоя на промежуточных ОП автобуса с соседнего маршрута, мин;
- $t_{обр}$  – время обработки и реакции на поступившую заявку, мин;
- $\gamma_{ф}$  – фактический коэффициент наполнения резервного автобуса;
- $\gamma_{min}$  – минимально допустимый коэффициент наполнения резервного автобуса;
- $ПЧ_{ож}$  – пассажиро-часы ожидания рассматриваемой подгруппы пассажиров, пас-ч;
- $ПЧ_{доп}$  – дополнительные пассажиро-часы, пас-ч;
- $q_{ож}$  – количество пассажиров, ожидающих перевозку на данном ОП, ед;
- $q_{своб}$  – количество свободных мест в автобусе, следующем по маршруту, ед;
- $q_{своб}'$  – количество свободных мест в рассматриваемом автобусе с соседнего маршрута, ед;
- $q_{ф}'$  – фактическое количество пассажиров в автобусе с соседнего маршрута, ед;
- $q_n$  – номинальная вместимость резервного автобуса, ед.

В качестве исходных данных выступают: нормативное значение времени ожидания рейсового автобуса на ОП, данные о вместимости резервного ПС, минимально допустимый коэффициент наполнения автобуса. Расчет таких показателей как время движения автобусов, время простоя на промежуточных остановках, время движения дополнительное предполагается в отдельном блоке с последующим включением данных в предложенный алгоритм.

### **Результаты и обсуждение**

В ходе исследования автор разработал методику управления городским пассажирским транспортом с учетом динамического спроса на перевозку, что соответствует поставленной задаче.

Практическая значимость работы. Результаты исследования могут быть использованы для оперативной маршрутизации ГПТ в сетях различной конфигурации. Предложенные ре-

шения применимы для городов любой размерности. Внедрение методики позволит повысить качество транспортного обслуживания пассажиров.

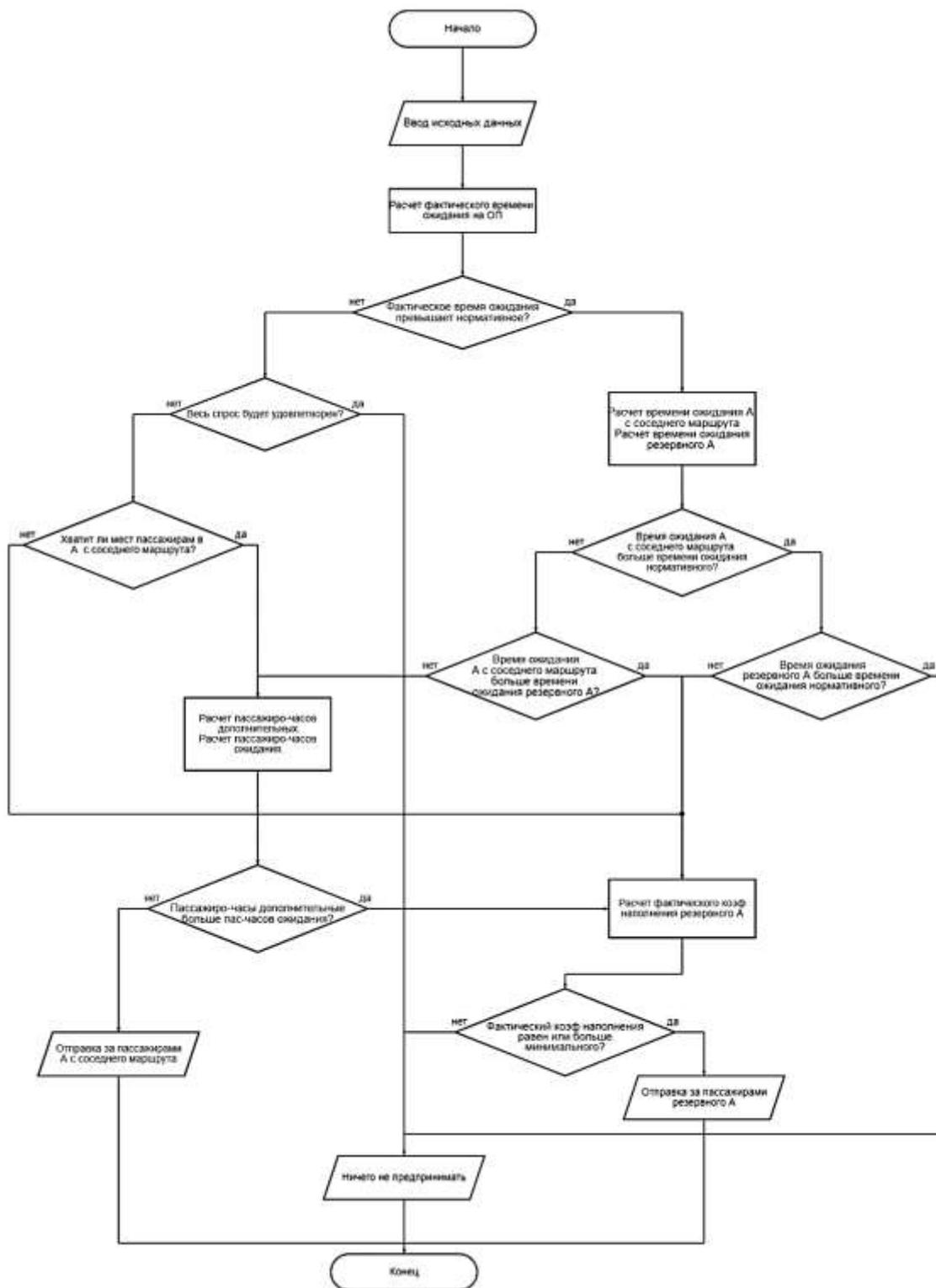


Рисунок 1 – Логический алгоритм принятия решений для динамического управления сетью ГПТ.

Источник: составлено автором. Примечание: А – автобус

В последующих работах планируется расширение представленного алгоритма. На данный момент он позволяет принять решение, касательно одной подгруппы пассажиров. В дальнейшем предполагается разработка алгоритма с включением всех ОП и подгрупп пассажиров сети городского пассажирского транспорта.

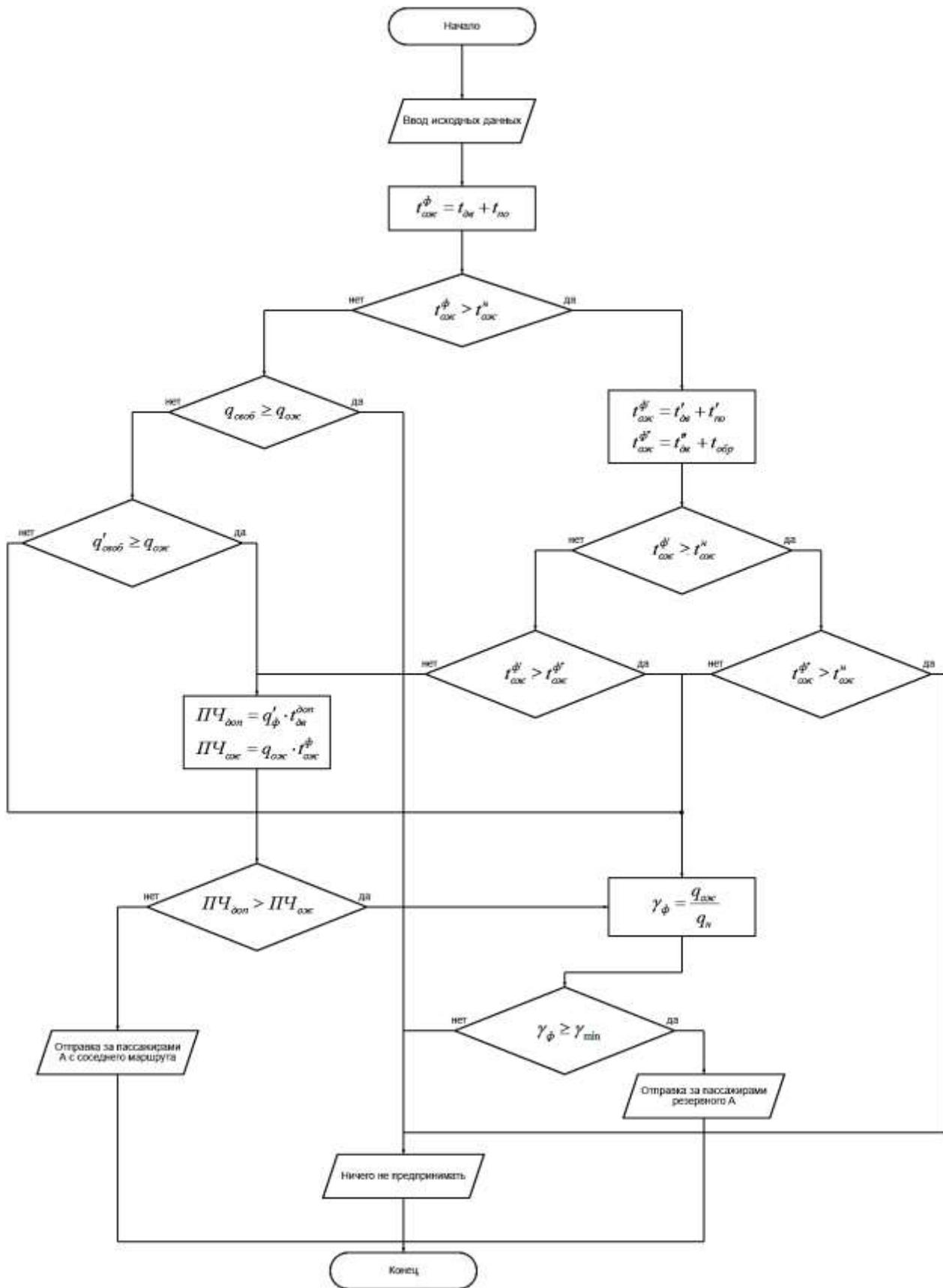


Рисунок 2 – Алгоритм принятия решений для динамического управления сетью ГПТ.

Источник: составлено автором. Примечание: А – автобус

### **Выводы**

Полученные автором результаты исследования относятся к мало разработанной области. Как отмечено выше, в вопросе оперативного управления сетью ГПТ ранее не рассматривалась возможность учета фактического спроса на перевозку в режиме реального времени. На данный момент, не существует аналогичных исследований у других авторов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Godfrey G.A., Powell W.B. An adaptive, dynamic programming algorithm for dynamic fleet management, II Multiperiod travel times // *Transportation Sci.* - №36(1). - 2002. - P. 40-54.
2. Bent R., Van Hentenryck P. A two-stage hybrid local search for the vehicle routing problem with time windows // *Transportation Science.* - №38. - 2004. - P. 515-530.
3. Bent R., Van Hentenryck P. Scenario-based planning for partially dynamic vehicle routing with stochastic customers // *Operations Research.* - №52. - 2004. - P. 977-987.
4. Костюк В.П., Хействер А.А. Разработка и исследование моделей и методов маршрутизации движения пассажиров общественным транспортом // *Вестник Саратовского государственного технического университета.* - 2015. - Т. 2. - №1(79). - С. 103-109.
5. Тимеряев Т.В. Методы и алгоритмы управления маршрутизацией в транспортных сетях на основе оперативной обработки информации в разреженных графах: специальность 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Уфа, 2015. - 22 с.
6. Жук А.Е. Динамическое управление парком подвижного состава на маршрутной сети общественного городского транспорта // *Логистика - евразийский мост: Материалы XV Международной научно-практической конференции.* – Красноярск-Енисейск: Красноярский государственный аграрный университет. - 2020. - С. 56-59.
7. Ветрова Т.А., Петров А.И. Техническое обеспечение оперативного управления пассажирскими перевозками // *Техника и технология транспорта.* - 2022. - №4(27).
8. Зырянов В.В., Ветрова Т.А. Коэффициент эталонности пространственно-геометрических характеристик маршрута // *Мир транспорта и технологических машин.* - 2022. - №2(77). - С. 46-53.
9. Якунина Н.В. Методология повышения качества перевозок пассажиров общественным автомобильным транспортом: дис. ... д-ра техн. наук. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2015. – 498 с.
10. Шаталова Н.В. Модели выбора рациональных вариантов развития транспортных сетей: дис. ... канд. тех. наук. – Санкт-Петербург, 2013. – 139 с.
11. Пыталова О.А. Обоснование параметров маршрутной сети городского наземного пассажирского транспорта: дис. ... канд. техн. наук. - Екатеринбург, 2010. – 135 с.
12. Новиков А.Н., Кулев А.В., Кулев М.В., Кулева Н.С. Методика организации маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования // *Мир транспорта и технологических машин.* - 2015. - №1(48). – С. 85-92.
13. Баскин Э.М. О времени ожидания пассажира на автобусной остановке // *Теория и средства автоматизации.* – М.: Наука. - 1968. – С. 188-198.
14. Баламирзоев А.Г., Алиева Х.Р., Баламирзоева Э.Р. Принятие решений пассажиропотоком по выбору маршрута передвижения // *Фундаментальные исследования.* – 2013. – №4-2. – С. 267-271.
15. Агафонов А.А., Сергеев А.В., Чернов А.В. Прогнозирование параметров движения городского пассажирского транспорта по данным спутникового мониторинга // *Компьютерная оптика.* – 2012. – Т. 36. - №3. – С. 453-457.
16. Иванов И.А., Терентьев А.В. Аналитическая модель формирования автобусных маршрутов в цифровой транспортной экосистеме // *Вестник гражданских инженеров.* – 2020. – №5(82). – С. 194-198.
17. Поначугин А.В., Соколов В.А. Современные вопросы разработки и внедрения автоматизированной системы управления на городском пассажирском транспорте // *Проблемы машиностроения и автоматизации.* – 2019. – №3. – С. 39-47.
18. Липенков А.В. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта на основе управления пропускной способностью остановочных пунктов: дис. ... канд. техн. наук. – Орел, 2015. – 154 с.
19. Атажанов М.К., Сайлиев М.И.у., Фармонов Ш.Ш. Автоматизированные системы управления на городском пассажирском транспорте // *Достижения науки и образования.* – 2020. – №3(57). – С. 11-13.
20. Файзуллоева С.Д. Основные направления совершенствования системы управления оказанием услуг населению городским пассажирским транспортом // *Вестник университета (Российско-Таджикский (Славянский) университет).* – 2019. – №3(67). – С. 110-118.

#### **Ветрова Татьяна Алексеевна**

Донской государственный технический университет  
Адрес: 344003, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1  
Аспирант  
E-mail: vedmatanka@mail.ru

## DYNAMIC MANAGEMENT OF THE URBAN PASSENGER TRANSPORT NETWORK

**Abstract.** *Despite the large number of works in the field of dynamic management of the urban passenger transport network, at the moment there are no methods of dynamic management of the route transport network, taking into account the actual demand and the possibility of real-time route realignment. The purpose of the study: to develop a methodology for managing urban passenger transport, taking into account the dynamic demand for transportation. The paper uses heuristic methods of scientific research and the method of formalization. To implement the methodology proposed by the author, a decision-making algorithm for dynamic management of the urban passenger transport network has been developed. It is presented in a logical and formalized form. The obtained results of the study are the only ones of their kind. The solutions proposed by the author are universal in nature and can be used for networks with different parameters.*

**Keywords:** *operational routing, public transport, optimal route, algorithm, passenger transportation*

### BIBLIOGRAPHY

1. Godfrey G.A., Powell W.B. An adaptive, dynamic programming algorithm for dynamic fleet management, II Multiperiod travel times // *Transportation Sci.* - №36(1). - 2002. - P. 40-54.
2. Bent R., Van Hentenryck P. A two-stage hybrid local search for the vehicle routing problem with time windows // *Transportation Science.* - №38. - 2004. - R. 515-530.
3. Bent R., Van Hentenryck P. Scenario-based planning for partially dynamic vehicle routing with stochastic customers // *Operations Research.* - №52. - 2004. - R. 977-987.
4. Kostyuk V.P., Heystver A.A. Razrabotka i issledovanie modeley i metodov marshrutizatsii dvizheniya passazhirov obshchestvennym transportom // *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* - 2015. - T. 2. - №1(79). - S. 103-109.
5. Timeryaev T.V. Metody i algoritmy upravleniya marshrutizatsiy v transportnykh setyakh na osnove operativnoy obrabotki informatsii v razrezhenykh grafakh: spetsial`nost` 05.13.01 Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii (po otraslyam): Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. - Ufa, 2015. - 22 s.
6. Zhuk A.E. Dinamicheskoe upravlenie parkom podvizhnogo sostava na marshrutnoy seti obshchestvennogo gorodskogo transporta // *Logistika - evraziyskiy most: Materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* - Krasnoyarsk-Eniseysk: Krasnoyarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. - 2020. - S. 56-59.
7. Vetrova T.A., Petrov A.I. Tekhnicheskoe obespechenie operativnogo upravleniya passazhirskimi perevozkami // *Tekhnika i tekhnologiya transporta.* - 2022. - №4(27).
8. Zyryanov V.V., Vetrova T.A. Koeffitsient etalonnosti prostranstvenno-geometricheskikh kharakteristik marshruta // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2022. - №2(77). - S. 46-53.
9. Yakunina N.V. Metodologiya povysheniya kachestva perevozok passazhirov obshchestvennym avtomobil`nym transportom: dis. ... d-ra tekhn. nauk. - Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet, 2015. - 498 s.
10. Shatalova N.V. Modeli vybora ratsional`nykh variantov razvitiya transportnykh setey: dis. ... kand. tekhn. nauk. - Sankt-Peterburg, 2013. - 139 s.
11. Pytaleva O.A. Obosnovanie parametrov marshrutnoy seti gorodskogo nazemnogo passazhirskogo transporta: dis. ... kand. tekhn. nauk. - Ekaterinburg, 2010. - 135 s.
12. Novikov A.N., Kulev A.V., Kulev M.V., Kuleva N.S. Metodika organizatsii marshrutnoy seti gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol`zovaniya // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2015. - №1(48). - S. 85-92.
13. Baskin E.M. O vremeni ozhidaniya passazhira na avtobusnoy ostanovke // *Teoriya i sredstva avtomatiki.* - M.: Nauka. - 1968. - S. 188-198.
14. Balamirzoev A.G., Alieva H.R., Balamirzoeva E.R. Prinyatie resheniy passazhiropotokom po vyboru marshruta peredvizheniya // *Fundamental`nye issledovaniya.* - 2013. - №4-2. - S. 267-271.
15. Agafonov A.A., Sergeev A.V., Chernov A.V. Prognozirovaniye parametrov dvizheniya gorodskogo passazhirskogo transporta po dannym sputnikovogo monitoringa // *Komp`yuternaya optika.* - 2012. - T. 36. - №3. - S. 453-457.
16. Ivanov I.A., Terent`ev A.V. Analiticheskaya model` formirovaniya avtobusnykh marshrutov v tsifrovoy transportnoy ekosisteme // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov.* - 2020. - №5(82). - S. 194-198.
17. Ponachugin A.V., Sokolov V.A. Sovremennyye voprosy razrabotki i vnedreniya avtomatizirovannoy sistemy upravleniya na gorodskom passazhirskom transporte // *Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii.* - 2019. - №3. - S. 39-47.
18. Lipenkov A.V. Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo passazhirskogo transporta na osnove upravleniya propusknoy sposobnost`yu ostanovochnykh punktov: dis. ... kand. tekhn. nauk. - Orel, 2015. - 154 s.
19. Atazhanov M.K., Sayliev M.I.u., Farmonov Sh.Sh. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya na gorodskom passazhirskom transporte // *Dostizheniya nauki i obrazovaniya.* - 2020. - №3(57). - S. 11-13.
20. Fayzulloeva S.D. Osnovnyye napravleniya sovershenstvovaniya sistemy upravleniya okazaniem uslug naseleleniyu gorodskim passazhirskim transportom // *Vestnik universiteta (Rossiysko-Tadzhikskiy (Slavyanskiy) universitet).* - 2019. - №3(67). - S. 110-118.

**Vetrova Tatiana Alekseevna**

Don State Technical University

Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don, pl. Gagarin, 1

Postgraduate student

E-mail: vedmatanka@mail.ru

Научная статья

УДК 656.022

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-61-67

Я.Е. ПИРОГОВ, А.В. ТЕРЕНТЬЕВ, С.С. ЕВТЮКОВ

## ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК В МЕГАПОЛИСЕ

**Аннотация.** Рассмотрены принципы аналитического моделирования, позволяющие проектировать информационно-аналитические платформы управления грузовыми автомобильными перевозками в сложных транспортных системах. Предложена методика математического моделирования процессов в информационно-аналитической платформе, а именно: реализация объектно-ориентированного подхода при формировании информационного пространства возможных решений и расчленение на подсистемы и уровни по принципу однородности технологии и неоднородности информационных состояний. Обоснована необходимость применения методов динамического программирования при проектировании сложных систем организации грузовых перевозок в мегаполисах.

**Ключевые слова:** мегаполис, сложная транспортная система, информационная ситуация, алгоритм оптимизации, многокритериальная задача

### Введение

Основной сложностью, возникающей при формировании или проектировании динамических сложных организационно-технических систем управления грузовыми автомобильными перевозками (ДСОТС ГАП) в мегаполисе или в крупной агломерации, является то, что на показатели её эффективности влияет большое количество внешних и внутренних факторов. При этом в течение достаточно незначительного по величине расчётного цикла, в пределах отклика системы, наблюдается значительная динамика исследуемых показателей, которая объективно преобразует сложную организационно-техническую систему (СОТС) ГАП в ДСОТС ГАП. В данных условиях возникает необходимость применения специальных инструментов управления, позволяющих постоянно реконфигурировать существующую СОТС в целях сохранения текущего состояния эффективности или же для перевода системы в новое состояние, соответствующее цели – повышение её эффективности. Основными характерными чертами исследуемого процесса в ДСОТС ГАП является дискретность исследуемого процесса и многоуровневость с определенными временными рамками каждого из уровней, как частного проявления и подтверждения устойчивости значений показателей. Поэтому необходима достоверная идентификация и оценка информационного состояния (ИС) внутренней и внешней среды функционирования системы.

### Материал и методы

Разработка информационно-аналитической платформы ДСОТС ГАП, позволяющей вырабатывать оптимальные стратегии управления системой ГАП крупной агломерации, возможно только с использованием системного подхода, раскрывающего и реализующего на практике принцип системности. Принцип системности позволяет при постановке задачи многообразную информацию «скрыть в своеобразный черный ящик» и именовать ее абстрактным понятием «информационная ситуация» (ИС). При этом каждой ИС должен соответствовать набор методов и соответствующих им математических моделей, позволяющих объективно работать в информационной среде, то есть получать необходимые решения (результаты). Данный прием из арсенала системного подхода позволяет в каждой конкретной задаче наполнять соответствующим конкретным математическим содержанием. С учетом сказанного введем символ МИТ – математическое описание информационных условия задач в ДСОТС ГАП. Тогда и суть процесса реконфигурации СОТС ГАП в ДСОТС ГАП в общем виде можно представить, как поиск соответствия между информационной ситуацией и решением, описывающими, соответственно, условия задачи и результат ее решения.

Наиболее общую модель упомянутого процесса опишем на данном этапе выражением:

$$\text{МИТ} \xrightarrow{MR} \text{MP} \quad (1)$$

где МИТ – математическая модель информационной ситуации, описывающей условия конкретной задачи реконфигурации;

MP - модель результата решения задачи, описывающего объект реконфигурации;

MR - оператор преобразования, укрупнено характеризующий здесь алгоритм самого процесса реконфигурации.

Выделенные в модели МИТ и MP конкретизируют соответственно содержание упомянутых ранее абстрактных понятий «вход» и «выход» системы вида «процесс». Сам же процесс (здесь процесс реконфигурации) формируется в модели под символом MR, иллюстрирующим тем самым смысл используемого в системном подходе понятия «черный ящик» при постановке задачи, в частности, задачи системного исследования на определенном этапе его проведения. Сказанное здесь иллюстрирует сложность и определяет необходимость структурирования упомянутой проблемы реконфигурации с учетом необходимости реализации принципа преемственности выделением следующих характерных ее составляющих, затрагивающих описания:

- исходных условий поставленной проблемы,
- исходных условий вновь поставленной задачи реконфигурации;
- объекта реконфигурации;
- информационного пространства поиска решений (ИППР);
- алгоритма поиска и принятия (выбора) решений;

### **Теория**

К настоящему времени разрабатывались и разработаны многочисленные методы управления процессами в ДСОТС. К сожалению, наиболее распространённые и применяемые на практике – это методы «простого физического» управления структурной динамикой ДСОТС, когда производится:

- изменение целей функционирования ДСОТС без изменения их содержания;
  - изменение последовательности выполнения перемещений в пространстве отдельных элементов ДСОТС;
  - физическое изменение структуры подсистем ДСОТС;
  - децентрализация или перераспределение функций и моделей управления, то есть изменение структуры связей в системе;
  - изменение и перераспределение структуры информационных потоков между уровнями или применение для этого новых технологий,
- то есть производится простая реконфигурация структур ДСОТС, приводящая её к деградации.

Примером тому может служить повсеместное использование термина «интеллектуальные технологии» или даже «интеллектуальные системы» при внедрении нового технологического новшества, заключающегося в том, что информация об системе транслируется в новом виде интерфейса или становится доступной на новых отдельных мобильных носителях без систематизированного анализа и необходимой математической обработки. Решение же проблемы научно-обоснованного эффективного управления структурной динамикой ДСОТС ГАП предполагает последовательное решение ряда математически сформулированных и упорядоченных задач:

- задачи анализа соответствия методом управления структурной динамики ДСОТС характеру управляемых процессов ГАП;
- задачи оценивания соответствия ИС внешней и внутренней среды модели структурной динамики ДСОТС ГАП,
- задачи синтеза оптимальных программ управления и технологий мониторинга в различных условиях обстановки основных элементов ДСОТС: сложных технических объектов (подвижного состава, средств механизации в ППР и т.д.).

Основная сложность, определяющая трудность решения задач в СОТС ГАП, когда она преобразуется в ДСОТС ГАП, состоит в следующем:

- 1) неизвестен или не установлен перечень целеполагания функций, реализуемых в подсистемах управления;
- 2) законы управления могут изменяться в зависимости при влиянии факторов внешней среды на различных этапах функционирования ДСОТС, что требует изменения её структура во времени;
- 3) законы управления характеризуются неполнотой и противоречивостью исходных данных, тогда информационные условия определяются как условия стохастической неопределенности.

В настоящее время данный класс задач, формируемых перечисленными условиями исследован недостаточно глубоко [1, 2, 3, ... , 10].

Существуют два основных подхода к решению задач, осложняемых перечисленными особенностями: исследования базируются на ряде итерационных процедур преобразующих исследуемую модель в упрощенный аналог с потерей точности полученных результатов [11-15] и развитие методов теории принятия решений в условиях стохастической неопределенности [16-20].

Выбор второго направления предполагает исследование свойств полимодельности и многокритериальности [21, 22]. Основное достоинство данного научного подхода заключается в том, что можно одновременно решать задачи адаптивного многокритериального выбора в различных ИС (условиях обстановки) [23-27].

### **Результаты**

Необходимым элементом ДСОТС ГАП является применение динамических моделей управления [28-31]. Задачи, которые необходимо решать, учитывая вышеизложенное:

- 1) существенно сократить размерность задач, решаемых в каждый момент времени (возможно за счёт рекуррентного описания моделей);
- 2) разработать базы данных, позволяющие проводить согласование и интерпретацию результатов, полученных на аналитических и имитационных моделях ДСОТС на различных иерархических уровнях управления и на типах описания: на алгоритмическом, информационном и программном уровнях описания;
- 3) обосновать выбор временных интервалов работы системы, подсистем и элементов ДСОТС.

Описанные принципы формирования методов управления структурной ДСОТС ГАП должны быть положены в основу разработки информационно-аналитической платформы, основанной на математических моделях теории принятия решений в условиях стохастической неопределенности, позволяющей вырабатывать оптимальные стратегии управления системой ГАП крупной агломерации (мегаполиса). Важно отметить, что разрабатываемая информационно-аналитическая платформа, является лишь частью, «черным ящиком», всего необходимого информационно-аналитического обеспечения в управлении сложными техническими системами.

Полная система информационно-аналитического обеспечения – это большой комплекс взаимосвязанных между собой подсистем: подсистемы методов математической анализа и обработки данных, комплекса технических средств для обработки, хранения и выдачи информации, подсистемы по выработке моделей и методов по организации и управления исследуемыми процессами и структурами и и т.д., объединенных в систему для достижения поставленной цели.

Полная система информационно-аналитического обеспечения должна включать подсистемы информационного обеспечения, математического обеспечения и программного обеспечения. По сути перечисленные три подсистемы входят в общую математическую модель информационной ситуации, описывающей условия конкретной задачи реконфигурации. После определения физической структуры ДСОТС ГАП необходимо определить принципы построения информационно-аналитической системы (платформы)

### **Обсуждение**

Наиболее значимой проблемой при создании данной модели (информационно-аналитической платформы), как «черного ящика» ДСОТС ГАП являются проблемы, связанные с математическим и алгоритмическим описанием решаемых организационно-

технических задач. От уровня формализации данных задач зависит эффективность ДСОТС ГАП в целом, а также возможная степень автоматизации (степень участия человека) при принятии решений. Естественно, что чем объективнее математическая формализация задач, тем больше процессов будет охвачено компьютерной обработкой данных, что и определяет уровень автоматизации задачи (рис. 1).



*Рисунок 1 – Анализ принципов построения информационно-аналитических систем*

На рисунке 1 приведена схема, анализирующая принципы построения информационно-аналитических систем в зависимости от различных подходов, применяемых при решении поставленных задач. При этом различают три *основных типа задач*: структурированные (формализуемые), неструктурированные (не формализуемые) и частично структурированные.

Принятие решения во всех видах задач сводится к выбору одной из предложенных альтернатив, то есть все задачи обладают едиными свойствами по целеполаганию, но по методам решения они значительно разнятся и точность результата как раз и зависит от выбора оптимального метода решения, т.е. от процедуры оценки синтезированных альтернатив.

**Выводы**

1 Определена концепция построения информационно-аналитической платформы управления в ДСОТС ГАП, основанная на принципах синтеза методов управления структурной динамикой сложных систем в виде имитационной модели, позволяющей осуществлять

поиск соответствия между информационной ситуацией и решением, описывающими, соответственно, условия задачи и результат ее решения.

2 Разработана общая физическая структура системы информационно-аналитического обеспечения и определены функции и место информационно-аналитической платформы в ДСОТС ГАП.

3 Сформированы принципы математического моделирование процесса в ИАП: реализация объектно-ориентированный подход при формировании информационного пространства возможных решений (ИППР) и расчленение на подсистемы и уровне по принципу однородности технологии и неоднородности информационных состояний:

- на макроуровне в информационной системе мегаполиса это отдельные транспортные предприятия, обладающие соответствующими производственными возможностями;
- на микроуровне в информационной системе транспортного предприятия это отдельные технологии: вид маршрута (простые маятниковые, кольцевые, сборные, развозочные и др.) тип транспортного средства и т.д.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hiroki Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. - Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. - 498p.
2. Цветков В.Я. Эмерджентизм // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – №2-1. – С. 137-138.
3. Цветков В.Я. Когнитивные аспекты построения виртуальных образовательных моделей/ В.Я. Цветков // Перспективы науки и образования - 2013. - №3. - С38-46.
4. Корнаков А.Н. Модель сложной организационно-технической системы // Перспективы науки и образования/А.Н.Корнаков - 2015. - №2. - С. 44-50.
5. Парсонс Т. Социальные системы // Личность. Культура. Общество. – 2003. – Т. 5. – №1-2. – С. 169-203.
6. Цветков В.Я. Систематика сложных систем [Электронный ресурс] / Современные технологии управления. - №7(79). - Режим доступа: <https://sovman.ru/article/7903/>.
7. Tsvetkov V.Ya., Lobanov A.A. Big Data as Information Barrier // European researcher, Series A. – 2014. - Vol.(78). - №7-1. - P. 1237-1242.
8. Гитман М.Б., Столбов В.Ю., Гилязов Р.Л. Управление социально-техническими системами с учетом нечетких предпочтений: Учебн. пособие. - М.: Высшая школа. – 2011. - 272 с.
9. Губко М.В. Теория игр в управлении организационными системами: Учебн. пособие. - М.: Синтег, 2002. - 148 с.
10. Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем: Учебн. пособие. - М.: Синтег, 1999. 108 с.
11. Филиппов Д.В. Управление и оптимизация процесса формирования маршрутов поставок потребительских товаров в распределительных центрах: автореф. дис. ... к-та. экон. наук. – Москва, 2012. - 23 с.
12. Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. – 318 p.
13. Charnes A., Cooper W.W., Lewin A.Y., Seiford L.M. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application. - Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994. – 513 pp.
14. Bowlin W.F., Charnes A., Cooper W.W., Sherman H.D. Data Envelopment Analysis and Regression Approaches to Efficiency Estimation and Evaluation // Annals of Operations Research. – 1985. – Vol. 2. – P. 113–138.
15. Charnes A. Measuring the Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operational Research. – 1978. – Vol. 2. – P. 429–444.
16. Farrell M.J. The Measurement of Productive Efficiency // Journal of The Royal Statistical Society, Series A (General). - Part III. – 1957. – Vol. 120. – P. 253-281.
17. Grossi G. National Tourism Policy // Analytical Framework for the Evaluation of Efficiency and Effectiveness: the Case of Itali University della SvizzeraItaliana. - 2010. - P.85.
18. Динер И.Я. Районирование множества векторов состояния природы и задача выбора решения // Исследование операций. - М.: Наука. - 1972. - С. 43-62.
19. Кривоножко В.Е., Пропой А.И., Сеньков Р.В., Родченков И.В., Анохин П.М. Анализ эффективности функционирования сложных систем // Автоматизация проектирования. – 1999. – №1. – С. 2-7.
20. Терентьев А.В., Прудовский Б.Д. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования // Записки Горного института. - Том 211. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С. 89-90.
21. Терентьев А.В. Методы решения автотранспортных задач [Электронный ресурс] / Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/125-19863>.
22. Терентьев А.В., Прудовский Б.Д. Векторная оптимизация // Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении: Материалы 2-ой международной научно-практической конференции. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – 2014. – С. 64-66.
23. Терентьев А.В., Прудовский Б.Д. Методы принятия решений в условиях неопределённого состояния «внешней среды» // Транспортное планирование и моделирование: сб. трудов Международной научно-практической конференции. - СПб.: СПбГАСУ. – 2016. - С. 145-149.
24. Терентьев А.В., Ефименко Д.Б., Карелина М.Ю. Методы районирования, как методы оптимизации автотранспортных процессов // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ. - 2017. - №6(65). - С. 291-294.

25. Прудовский Б.Д., Терентьев А.В. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования // Записки Горного института. - Том 211. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». - 2015. - С. 86-90.

26. Терентьев А.В., Прудовский Б.Д. Методы принятия решений в условиях неопределённого состояния «внешней среды» // Транспортное планирование и моделирование: сб. трудов Международной научно-практической конференции СПб.: СПбГАСУ. – 2016. - С. 145-149.

27. Аналитические методы снятия неопределённости – основа цифровизации автотранспортного производства / А.В. Терентьев, С.С. Евтюков, Е.А. Карелина, Е.В. Куракина. - СПб: Петрополис, 2018. - 210 с.

28. Boris V. Cherkassky, Andrew V. Goldberg, Tomasz Radzik. Shortest paths algorithms. Mathematical Programming, Series A, 73:129-174, 1996.

29. Демин В.А. Методология планирования, организации и управления терминально-складскими комплексами в транспортно-логистических системах: Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. – Москва, 2019. - 36 с.

30. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие. – М.: Издательский центр «Академия». - 5-е изд., 2008. – 288 с.

31. Повышение эффективности грузовых перевозок на основе создания устойчивой транспортно-логистической системы модульного типа для высокоскоростной обработки и доставки грузов: монография / Л.Б. Миротин, А.Г. Некрасов, В.А. Гудков и др. ; под общ. ред. Л.Б. Миротина и А.Г. Некрасова. – М.: Техполиграфцентр, 2013. - 232 с.

**Пирогов Ярослав Евгеньевич**

ГКУ Ленинградской области «Оператор «электронного правительства»

Адрес: 191015, Россия, г. Санкт-Петербург, Шпалерная ул., 52

Вр.и.о руководителя

E-mail: pirogovye@gmail.com

**Терентьев Алексей Вячеславович**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Д.т.н., профессор кафедры «Транспортные системы»

E-mail: aleksej.terentev.67@bk.ru

**Евтюков Станислав Сергеевич**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Д.т.н., заведующий кафедрой «Транспортные системы»

E-mail: ese-89@yandex.ru

---

J.E. PIROGOV, A.V. TERYTYEV, S.S. EVTYUKOV

## INFORMATION AND ANALYTICAL PLATFORM FOR ORGANIZATION OF ROAD FREIGHT TRANSPORTATION IN MEGALOPOLIS

***Abstract.** The principles of analytical modeling that allow designing information and analytical platforms for managing road freight transportation in complex transport systems are considered. The method of mathematical modeling of processes in an information and analytical platform is proposed, namely: the implementation of an object-oriented approach when forming an information space of possible solutions and dividing into subsystems and levels according to the principle of homogeneity of technology and heterogeneity of information states. The need to use dynamic programming methods in the design of complex systems for organizing freight transportation in megacities is justified.*

***Keywords:** megalopolis, complex transport system, information situation, optimization algorithm, multi-criteria problem*

### BIBLIOGRAPHY

1. Hiroki Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. - Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. - 498r.
2. TSvetkov V.Ya. Emerdzhentizm // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental`nykh issledovaniy. - 2017. - №2-1. - S. 137-138.
3. TSvetkov V.Ya. Kognitivnye aspekty postroeniya virtual`nykh obrazovatel`nykh modeley/ V.Ya. TSvetkov // Perspektivy nauki i obrazovaniya - 2013. - №3. - S38-46.
4. Kornakov A.N. Model` slozhnoy organizatsionno-tekhnicheskoy sistemy // Perspektivy nauki i obrazovaniya/A.N.Kornakov - 2015. - №2. - S. 44-50.
5. Parsons T. Sotsial`nye sistemy // Lichnost`. Kul`tura. Obschestvo. - 2003. - Т. 5. - №1-2. - S. 169-203.
6. TSvetkov V.Ya. Sistematika slozhnykh sistem [Elektronnyy resurs] / Sovremennye tekhnologii upravleniya. - №7(79). - Rezhim dostupa: <https://sovman.ru/article/7903/>.
7. Tsvetkov V.Ya., Lobanov A.A. Big Data as Information Barrier // European researcher, Series A. - 2014. - Vol.(78). - №7-1. - P. 1237-1242.

8. Gitman M.B., Stolbov V.Yu., Gilyazov R.L. Upravlenie sotsial'no-tekhnicheskimi sistemami s uchedom nechetkikh predpochteniy: Uchebn. posobie. - M.: Vysshaya shkola. - 2011. - 272 s.
9. Gubko M.V. Teoriya igr v upravlenii organizatsionnymi sistemami: Uchebn. posobie. - M.: Sinteg, 2002. - 148 s.
10. Novikov D.A., Petrakov S.N. Kurs teorii aktivnykh sistem: Uchebn. posobie. - M.: Sinteg, 1999. 108 s.
11. Fillipov D.V. Upravlenie i optimizatsiya protsessa formirovaniya marshrutov postavok potrebitel'skikh tovarov v raspredelitel'nykh tseentrakh: avtoref. dis. ... k-ta. ekon. nauk. - Moskva, 2012. - 23 s.
12. Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software. - Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. - 318 p.
13. Charnes A., Cooper W.W., Lewin A.Y., Seiford L.M. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application. - Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994. - 513 pp.
14. Bowlin W.F., Charnes A., Cooper W.W., Sherman H.D. Data Envelopment Analysis and Regression Approaches to Efficiency Estimation and Evaluation // *Annals of Operations Research*. - 1985. - Vol. 2. - P. 113-138.
15. Charnes A. Measuring the Efficiency of Decision Making Units // *European Journal of Operational Research*. - 1978. - Vol. 2. - P. 429-444.
16. Farrell M.J. The Measurement of Productive Efficiency // *Journal of The Royal Statistical Society, Series A (General)*. - Part III. - 1957. - Vol. 120. - P. 253-281.
17. Grossi G. National Tourism Policy // *Analytical Framework for the Evaluation of Efficiency and Effectiveness: the Case of Itali University della Svizzera Italiana*. - 2010. - P.85.
18. Diner I.Ya. Rayonirovanie mnozhestva vektorov sostoyaniya prirody i zadacha vybora resheniya // *Issledovanie operatsiy*. - M.: Nauka. - 1972. - S. 43-62.
19. Krivonozhko V.E., Propoy A.I., Sen'kov R.V., Rodchenkov I.V., Anokhin P.M. Analiz effektivnosti funktsionirovaniya slozhnykh sistem // *Avtomatizatsiya proektirovaniya*. - 1999. - №1. - S. 2-7.
20. Terent'ev A.V., Prudovskiy B.D. Metody opredeleniya mnozhestva Pareto v nekotorykh zadachakh lineynogo programmirovaniya // *Zapiski Gornogo instituta*. - Tom 211. - SPb.: Natsional'nyy mineral'no-syr'evoy universitet «Gornyy», 2015. - S. 89-90.
21. Terent'ev A.V. Metody resheniya avtotransportnykh zadach [Elektronnyy resurs] / *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. - 2015. - № 1. - Rezhim dostupa: <http://www.science-education.ru/125-19863>.
22. Terent'ev A.V., Prudovskiy B.D. Vektornaya optimizatsiya // *Innovatsionnye sistemy planirovaniya i upravleniya na transporte i v mashinostroenii: Materialy 2-oy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. - SPb.: Natsional'nyy mineral'no-syr'evoy universitet «Gornyy». - 2014. - S. 64-66.
23. Terent'ev A.V., Prudovskiy B.D. Metody prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelionnogo sostoyaniya «vneshney sredy» // *Transportnoe planirovanie i modelirovanie: sb. trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. - SPb.: SPbGASU. - 2016. - S. 145-149.
24. Terent'ev A.V., Efimenko D.B., Karelina M.Yu. Metody rayonirovaniya, kak metody optimizatsii avtotransportnykh protsessov // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. - SPb.: SPbGASU. - 2017. - №6(65). - S. 291-294.
25. Prudovskiy B.D., Terent'ev A.V. Metody opredeleniya mnozhestva Pareto v nekotorykh zadachakh lineynogo programmirovaniya // *Zapiski Gornogo instituta*. - Tom 211. - SPb.: Natsional'nyy mineral'no-syr'evoy universitet «Gornyy». - 2015. - S. 86-90.
26. Terent'ev A.V., Prudovskiy B.D. Metody prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelionnogo sostoyaniya «vneshney sredy» // *Transportnoe planirovanie i modelirovanie: sb. trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii SPb.: SPbGASU*. - 2016. - S. 145-149.
27. Analiticheskie metody snyatiya neopredelionnosti - osnova tsifrovizatsii avtotransportnogo proizvodstva / A.V. Terent'ev, S.S. Evtyukov, E.A. Karelina, E.V. Kurakina. - SPb.: Petropolis, 2018. - 210 s.
28. Boris V. Cherkassky, Andrew V. Goldberg, Tomasz Radzik. Shortest paths algorithms. *Mathematical Programming, Series A*, 73:129-174, 1996.
29. Demin V.A. Metodologiya planirovaniya, organizatsii i upravlniya terminal'no-skladskimi kompleksami v transportno-logisticheskikh sistemakh: Avtoref. dis. ... d-ra. tekhn. nauk. - Moskva, 2019. - 36 s.
30. Gorev A.E. Gruzovye avtomobil'nye perezozki: ucheb. posobie. - M.: Izdatel'skiy tsentr «Akade-miya». - 5-e izd., 2008. - 288 s.
31. Povyshenie effektivnosti gruzovykh perezozok na osnove sozdaniya ustoychivoy transportno-logisticheskoy sistemy modul'nogo tipa dlya vysokoskorostnoy obrabotki i dostavki gruzov: monografiya / L.B. Mirotin, A.G. Nekrasov, V.A. Gudkov i dr. ;pod obshch. red. L.B. Mirotina i A.G. Nekrasova. - M.: Tekhpoligrftsentr, 2013. - 232 s.

**Pirogov Yaroslav Evgenievich**

GKU of the Leningrad region «Operator» of «electronic government»  
Address: 191015, Russia, St. Petersburg, Shpalernaya str.  
Acting Head  
Email: pirogovye@gmail.com

**Evtyukov Stanislav Sergeevich**

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering  
Address: 190005, Russia, St. Petersburg  
Doctor of technical sciences  
E-mail: ese-89@yandex.ru

**Terentyev Alexey Vyacheslavovich**

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering  
Address: 190005, Russia, St. Petersburg  
Doctor of technical sciences  
E-mail: aleksej.terentev.67@bk.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-68-74

А.А. ВЛАСОВ, В.В. КОНОВАЛОВ

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ СВЕТОФОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

***Аннотация.** Приведен анализ требований к построению интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в Российской Федерации, показана связность подсистемы светофорного управления с прочими подсистемами и модулями ИТС, что определяет необходимость комплексного подхода к ее созданию. Приведен алгоритм формирования управляющих воздействий при автоматическом управлении движением с использованием предварительно рассчитанных программ регулирования. В приведенной методике периоды активности предварительно рассчитанных программ регулирования могут определены для временно-зависимого управления и при активации программ регулирования по наблюдаемой интенсивности движения. Функционирование подсистемы светофорного управления в режиме адаптивного управления сформулировано как управление светофорными объектами с прогнозирующей моделью.*

***Ключевые слова:** интеллектуальная транспортная система, светофорное управление, моделирование дорожного движения, транспортный поток, управление с прогнозирующей моделью*

### **Введение**

Создание и развитие интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в Российской Федерации в рамках реализации мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих 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» национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» [1] обеспечивает эффективное использование существующей улично-дорожной сети и регулирование объема и структуры транспортного спроса за счет комплексного использования современных транспортных и информационных технологий [2].

### **Материал и методы**

Мероприятия по внедрению ИТС предполагают последовательное повышение уровня зрелости [3], при этом определяющим является уровень развития подсистем светофорного управления и мониторинга параметров транспортного потока. Для систем 1 уровня зрелости должно выполняться условие функционирования не менее 20 % светофорных объектов в режиме адаптивного управления при условии их оборудования детекторами транспорта для мониторинга параметров дорожного движения.

Практикой проектирования и строительства светофорных объектов, закреплённой на уровне отраслевых методических документов (ОДМ) [4], не предусматривалось проектирования и строительства светофорных объектов, оборудованных детекторами транспорта и обеспечивающих адаптивное управление. Результатом стала ситуация, при которой в Российской Федерации отсутствовали стимулы для развития периферийного оборудования и технологий адаптивного управления как на уровне локального светофорного объекта, так и сетевого управления в рамках автоматизированных систем управления дорожным движением.

Импорт технологий управления транспортными потоками имел ограниченный характер, в качестве исключения можно привести успешную реализацию проекта внедрения системы управления движением УТОPIА в г. Казани. Введенные ограничения на экспорт технологий в Российскую Федерацию полностью закрыл возможность их использования при построении подсистем светофорного управления.

**Теория**

Проблемы функционирования подсистемы светофорного управления. Подсистема светофорного управления (ПСУ) относится к уровню инструментальных подсистем в физической архитектуре ИТС [5] и реализует функции управления движением транспортных средств и пешеходных потоков на улично-дорожной сети города, городской агломерации, автомобильной дороге или автомагистрали средствами светофорного регулирования и предоставления данных другим подсистемам ИТС [6].

Существует мнение, что ПСУ представляет собой дальнейшее развитие автоматизированных систем управления движением (АСУД) и являются только одним из одиннадцати сервисных доменов, составляющих интеллектуальную транспортную систему и акцент на их создание в рамках реализации локальных проектов, является сдерживающим фактором в развитии ИТС [7-9]. Рассмотрим подробнее функции АСУД, определенные нормативными документами [10] (рис. 1).

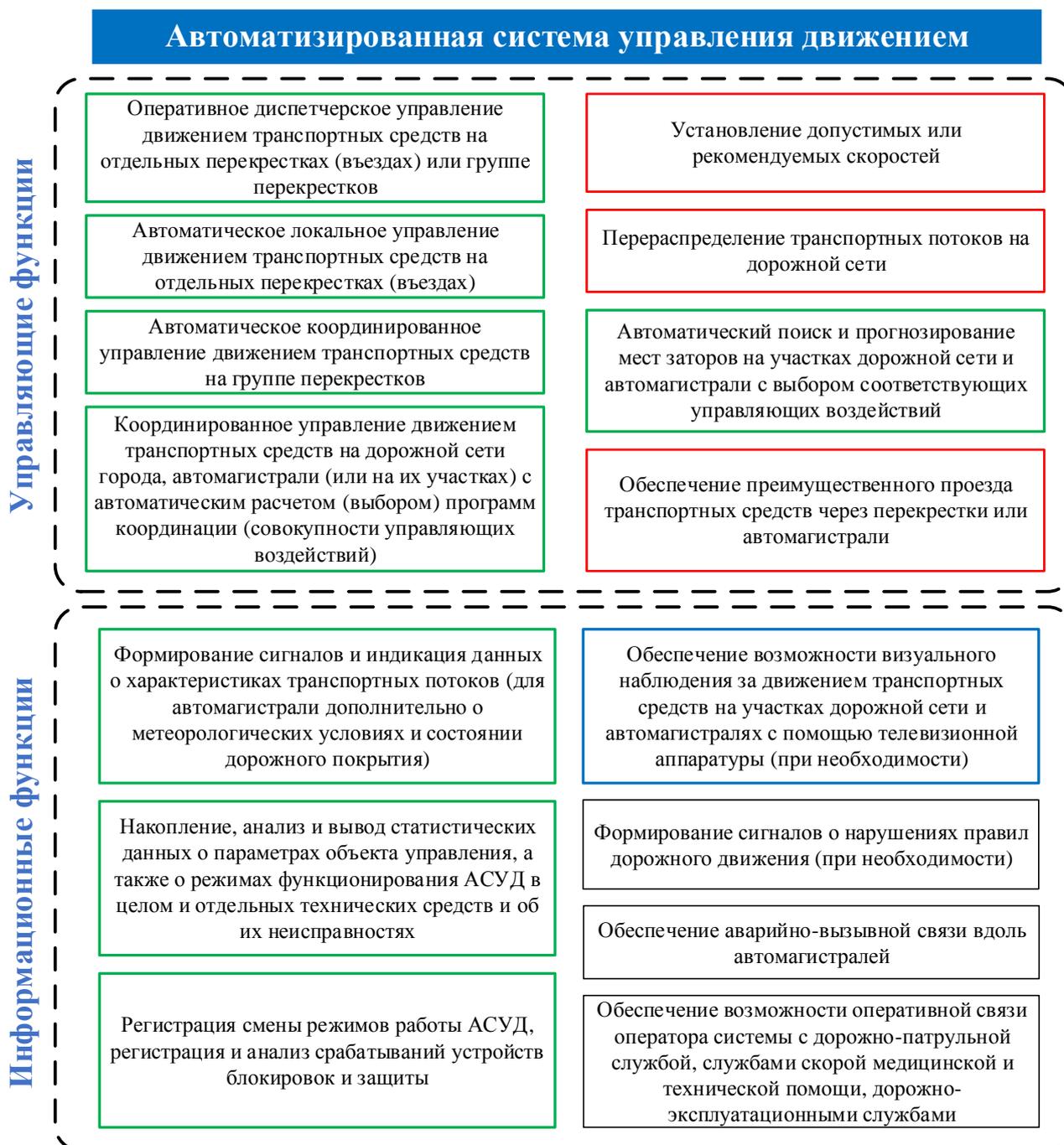


Рисунок 1 – Функции АСУД в соответствии с ГОСТ 24.501-82

Сопоставление функциональных требований АСУД с составом, функциональными требованиями к подсистемам и модулям интеграционной платформы ИТС характерных для 0 – 3 уровня зрелости [3], свидетельствует о проведенной разработчиками нормативной создания ИТС декомпозиции функций традиционных АСУД. Данный подход вполне оправдан и должен обеспечить модульность построения ИТС, но создает существенный риск потери целостности и соответственно эффективности функционирования ИТС. В качестве подтверждения обоснованности указанных опасений рассмотрим порядок формирования и применения управляющих воздействий в ПСУ – программ регулирования (сигнальных планов) светофорных объектов.

Исходными данными для расчета программы регулирования, включающей определение длительности фаз, являются геометрические характеристики светофорного объекта, схема разъезда и интенсивность движения транспортных средств [4]. В случае расчета режимов движения для координированного управления – расстояние между смежными светофорными объектами, подлежащими координации. В соответствии с концепцией реализации локальных проектов создания ИТС [3] указанные данные должны обрабатываться и храниться:

- интенсивность движения в подсистеме мониторинга параметров транспортных потоков;
- геометрические характеристики светофорного объекта и их взаимного размещения (графа транспортной сети) геоинформационной системой сбора, хранения и графической визуализации данных;
- схема разъезда транспортных средств модулем электронного КСОДД или «Цифровой двойник».

В случае отсутствия единой модели данных обеспечить условия для выполнения необходимых расчетов при формировании управляющих воздействий ПСУ крайне затруднительно. Кроме того следует учесть, что в методических рекомендациях по созданию, развитию и обеспечению эффективности функционирования ИТС в городских агломерациях [3] однозначно не обозначен модуль интеграционной платформы или подсистема, обеспечивающая расчет программ регулирования ПСУ. Создание модуля транспортного прогнозирования и моделирования, и соответственно транспортной модели городской агломерации, доступно только в ИТС 3 и более высокого уровня зрелости. Фактически создана ситуация, при которой в ИТС 1 и 2 уровня зрелости отсутствует основной механизм формирования управляющих воздействий ПСУ, что ставит под сомнение эффективность реализации локальных проектов создания ИТС.

Высокая связность подсистем и модулей интеграционной платформы ИТС, продемонстрированная выше, требует формализации задач формирования управляющих воздействий и последующего изменения архитектуры ИТС на основе их анализа.

Формирования управляющих воздействий подсистемы светофорного управления. Управление транспортными потоками в ПСУ может производиться оператором на основе собственного, субъективного, опыта или в автоматическом режиме по предварительно рассчитанным или оптимизируемым в режиме реального времени программам регулирования [11]. Очевидно, что непосредственное управление оператором светофорным объектом является нештатным режимом функционирования ИТС. Рассмотрим методические подходы и требования к математическому обеспечению ПСУ для функционирования в автоматическом режиме.

Автоматическое управление по предварительно рассчитанным программам регулирования предусматривает следующие технологические процессы [12, 14]:

- 1) описание зоны управления, включая геометрические параметры пересечения (пересечений зоны координации) и схему движения;
- 2) накопление данных о параметрах транспортных потоков с использованием детекторов транспорта;
- 3) предварительная обработка накопленных данных. Результаты измерений интенсивности движения в условиях городских транспортных сетей характеризуются высокой во-

латильностью (рис. 2), определяемой как стохастической природой транспортного спроса, так и формирующего воздействия смежных пересечений. Перед использованием при расчетах данные должны пройти процедуры верификации и валидации с последующим восполнением отсутствующих данных и сглаживанием [14, 18]. Результатом предварительной обработки накопленных данных должен являться временной ряд интенсивности движения для периода, на который разрабатываются программы регулирования;

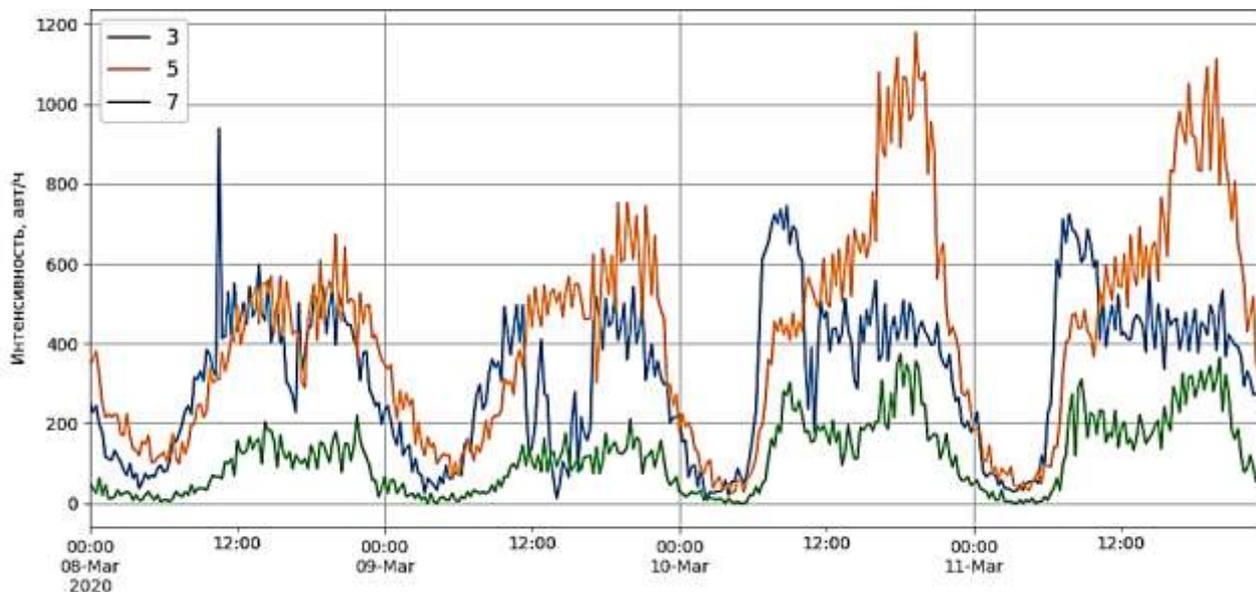


Рисунок 2 – Интенсивность движения по группам полос 3, 5 и 7 с 08.03.2020 по 12.03.2020 на пересечении проспекта Непокоренных и Гражданского проспекта г. Санкт-Петербург

4) расчет программ регулирования и назначение периодов активности для них. Периоды активности могут быть определены в пространстве «Время» для временно-зависимого управления или «Интенсивность» при активации программ регулирования по наблюдаемой интенсивности движения.

#### **Расчет**

Расчет программ регулирования представляет собой многостадийную процедуру. Для формирования программ регулирования, функционирующих при временно-зависимом управлении, расчет выполняется для каждого интервала временного ряда и включает:

- расчет базовой длительности цикла регулирования и фаз по общеизвестным методикам [4];
- при координированном управлении установка единой длительности цикла регулирования для зоны;
- корректировка длительности фаз (распределение эффективной длительности цикла регулирования между транспортными фазами) с соблюдением при необходимости баланса входящих и исходящих потоков по магистральным направлениям транспортных потоков. Методика балансировки описана в работах [16, 17];
- оптимизация сдвига при расчете координированного управления в зоне управления.

Модели движения транспортных потоков, используемые при расчете управляющих воздействий ПСУ приведены в работе [13].

#### **Результаты и обсуждение**

При использовании ограниченного набора программ регулирования их длительность и период активности определяются путем их объединения в кластеры методом k-средних. Теоретические основы и апробация данного подхода приведены в работах [14, 15].

При активации программ регулирования в ПСУ по наблюдаемой интенсивности движения процедура расчета будет дополнительно включать кластеризацию ретроспективных данных интенсивности движения методом k-средних и обучение классификатора для иден-

тификации текущей транспортной ситуации и выбора соответствующей предварительно рассчитанной программы регулирования.

Функционирование ПСУ в автоматическом режиме с оптимизацией в режиме реального времени программ регулирования (в режиме адаптивного управления) предполагает выполнение расчетов в реальном времени. Наиболее эффективной схемой управления в этом случае является схема управления с прогнозирующей моделью [17].

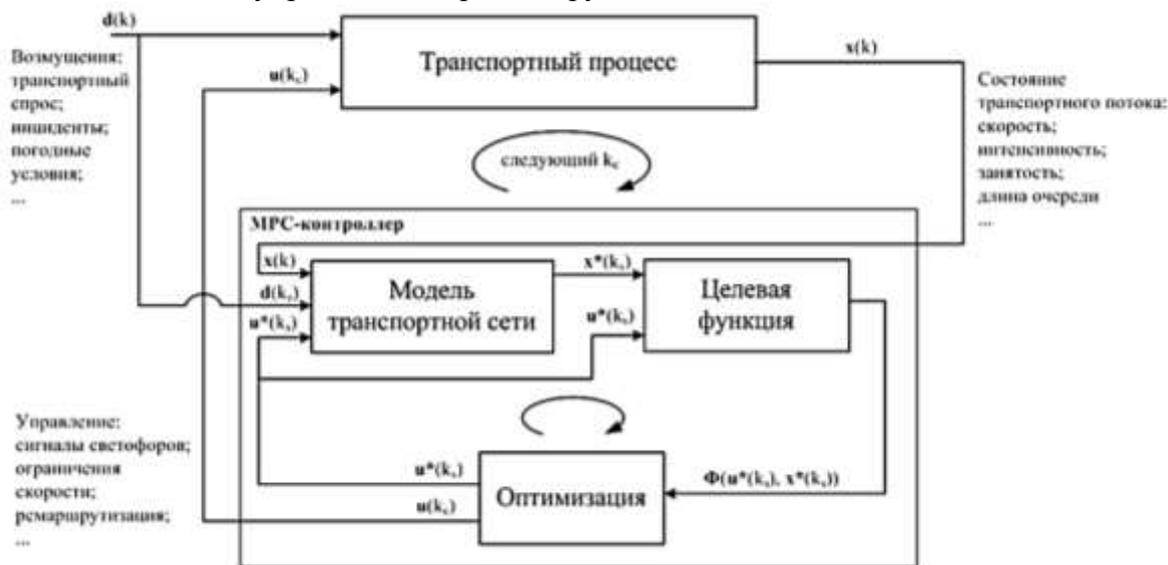


Рисунок 3 – Структурная схема управления светофорными объектами с прогнозирующей моделью

Управления с прогнозирующей моделью предполагает оценку текущего состояния светофорных объектов, прогноз их состояния при выбранном управлении на горизонте прогноза. Период действия выбранного управления устанавливается существенно меньше горизонта прогноза и по его истечению процедура поиска управления повторяется.

Важным компонентом при этом является выполнение процедуры прогноза интенсивности движения или транспортного спроса. При действии управления кратко циклу регулирования, горизонт прогноза должен составлять не менее 15 минут. Вопросы оперативного прогноза интенсивности движения на сети со светофорным регулированием рассмотрены в работах [19, 20].

### Выводы

Подсистема светофорного регулирования является неотъемлемой частью интеллектуальной транспортной системы и безусловно является базовым ядром для ее построения. Наличие критических с точки зрения функционирования системы связей с прочими подсистемами и модулями интеграционной платформы требует пересмотра ее места и роли в построении эффективно функционирующих интеллектуальных транспортных систем городских агломераций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт Национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://government.ru/info/35558/>
2. Евстигнеев И.А. Основы создания интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях России. – М.: Издательство «Перо». – 2021. – 294 с.
3. Об утверждении Методических рекомендаций по разработке заявок (включая локальные проекты по созданию и модернизации интеллектуальных транспортных систем) субъектов Российской Федерации в целях реализации мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих 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 21 марта 2022г №АК-74-р. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/11768?type=>
4. ОДМ 218.6.003-2011 Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах [Электронный ресурс] / Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/1200098292>

5. ГОСТ Р 56294-2014 Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем [Электронный ресурс] / Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/1200115739>
6. ОДМ 218.9.011–2016 Рекомендации по выполнению обоснования интеллектуальных транспортных систем [Электронный ресурс] / Режим доступа <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/160odm-2189011-2016.pdf>
7. Солодкий А.И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России: проблемы и пути их решения. Новый этап // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – №6. – С. 10-19. – DOI 10.25198/2077-7175-2020-6-10.
8. Швецов В.Л. Особенности построения интеллектуальных транспортных систем в российских городах // Мир дорог. – 2020. – №131. – С. 72-75.
9. Фролов Н.А. Интеллектуальные транспортные системы как следствие развития алгоритмов управления и модификации современных АСУДД // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции. – Тула: Тульский государственный университет, 2017. – С. 257-261.
10. ГОСТ 24.501-82 Автоматизированные системы управления дорожным движением. Общие требования [Электронный ресурс] / Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/1200006875>
11. Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б. Управление транспортными потоками в городах. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.
12. Власов А.А. Концепция цифрового двойника как основа создания интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - №3-2(78). - С. 56-62.
13. Власов А.А. Модели транспортного потока в задачах управления движением в городских условиях // Транспортное планирование и моделирование: Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. - 2019. – С. 55-61.
14. Пильгейкина И.А., Власов А.А., Скорикова И.А. методики проектирования режимов работы светофорных объектов // XV Международная научно – практическая конференция Прогрессивные технологии в транспортных системах: Евразийское сотрудничество: Сборник материалов XV международной научно-практической конференции. – Оренбург: ОГУ. - 2020. – С. 472-481.
15. Власов А.А., Пильгейкина И.А., Скорикова И.А. Методика формирования многопрограммного управления изолированным перекрестком // Компьютерные исследования и моделирование. – 2021. – Т. 13. – №2. – С. 295-303.
16. Vlasov A. Features of Calculation of Traffic Light Control Modes in the Conditions of Intensive Road Traffic. 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities» // Transportation Research Procedia. - Vol. 20. – 2017. - P. 676-682.
17. Власов А.А., Орлов Н.А. Управление насыщенными транспортными потоками в городах: монография. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014. – 187 с.
18. Власов А.А., Широков М.В. Проблемы применения алгоритмов оптимизации параметров светофорного цикла в реальном времени // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2009. – №2(17). – С. 103-108.
19. Lana I., Del-Ser J., Velez M., Vlahogianni E.I. Road traffic forecasting: recent advances and new challenges // IEEE Intell. Transp. Syst. Mag. – 2018. - Vol. 10. - P. 93-109.
20. Власов А.А. Робастное прогнозирование интенсивности движения транспортных потоков // International Journal of Advanced Studies. – 2022. – Т. 12. – №2. – С. 7-20.

**Власов Алексей Александрович**

ГБУ Пензенской области «Безопасный регион»  
Адрес: 440031, Россия, г. Пенза, ул. Окружная, 3Б  
К.т.н.  
E-mail: vlasov\_a71@mail.ru

**Коновалов Владимир Викторович**

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»  
Адрес: 440039, Россия, Пенза, ул. Байдукова, проезд Гагарина ул, д. 1а/11  
Д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения»  
E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

---

A.A. VLASOV, V.V. KONOVALOV

**MATHEMATICAL SUPPORT OF THE TRAFFIC LIGHT CONTROL  
SUBSYSTEM OF THE INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM**

*Abstract. The analysis of the requirements for the construction of intelligent transport systems (ITS) in the Russian Federation is given, the connectivity of the traffic light control subsystem with other subsystems and ITS modules is shown, which determines the need for an integrated approach to its creation. An algorithm for the formation of control actions for automatic motion control using pre-calculated control programs is given. In the above methodology, the periods of activity of pre-calculated control programs can be determined for time-dependent control and when control pro-*

grams are activated according to the observed traffic intensity. The functioning of the traffic light control subsystem in adaptive control mode is formulated as the control of traffic light objects with a predictive model.

**Keywords:** intelligent transport system, traffic light control, traffic simulation, traffic flow, control with predictive model

## BIBLIOGRAPHY

1. Pasport Natsional'nogo proekta «Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi» [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://government.ru/info/35558/>
2. Evstigneev I.A. Osnovy sozdaniya intellektual'nykh transportnykh sistem v gorodskikh aglomeratsiyakh Rossii. - M.: Izdatel'stvo «Pero». - 2021. - 294 s.
3. Ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendatsiy po razrabotke zayavok (vkluychaya lokal'nye proekty po sozdaniyu i modernizatsii intellektual'nykh transportnykh sistem) sub"ektov Rossiyskoy Federatsii v tselyakh realizatsii meropriyatiya «Vnedrenie intellektual'nykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh 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 21 marta 2022g №AK-74-r [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/11768?type=>
4. ODM 218.6.003-2011 Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu svetofornykh ob"ektov na avtomobil'nykh dorogakh [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa <https://docs.cntd.ru/document/1200098292>
5. GOST R 56294-2014 Intellektual'nye transportnye sistemy. Trebovaniya k funktsional'noy i fizicheskoy arkhitekture intellektual'nykh transportnykh sistem [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa <https://docs.cntd.ru/document/1200115739>
6. ODM 218.9.011-2016 Rekomendatsii po vypolneniyu obosnovaniya intellektual'nykh transportnykh sistem [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa <https://rosavtdor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/160odm-2189011-2016.pdf>
7. Solodkiy A.I. Razvitie intellektual'nykh transportnykh sistem v Rossii: problemy i puti ikh resheniya. Novyy etap // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2020. - №6. - S. 10-19. - DOI 10.25198/2077-7175-2020-6-10.
8. Shvetsov V.L. Osobennosti postroeniya intellektual'nykh transportnykh sistem v rossiyskikh gorodakh // Mir dorog. - 2020. - №131. - S. 72-75.
9. Frolov N.A. Intellektual'nye transportnye sistemy kak sledstvie razvitiya algoritmov upravleniya i modifikatsii sovremennykh ASUDD // Problemy issledovaniya sistem i sredstv avtomobil'nogo transporta: materialy Mezhdunarodnoy ochno-zaочноy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - Tula: Tul'skiy gosudarstvennyy universitet, 2017. - S. 257-261.
10. GOST 24.501-82 Avtomatizirovannye sistemy upravleniya dorozhnym dvizheniem. Obshchie trebovaniya [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa <https://docs.cntd.ru/document/1200006875>
11. Kapitanov V.T., Hilazhev E.B. Upravlenie transportnymi potokami v gorodakh. - M.: Transport, 1985. - 94 s.
12. Vlasov A.A. Kontsepsiya tsifrovogo dvoynika kak osnova sozdaniya intellektual'nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-2(78). - S. 56-62.
13. Vlasov A.A. Modeli transportnogo potoka v zadachakh upravleniya dvizheniem v gorodskikh usloviyakh // Transportnoe planirovanie i modelirovanie: Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. - 2019. - S. 55-61.
14. Pil'geykina I.A., Vlasov A.A., Skorikova I.A. metodiki proektirovaniya rezhimov raboty svetofornykh ob"ektov // XV Mezhdunarodnaya nauchno - prakticheskaya konferentsiya Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Evraziyskoe sotrudnichestvo: Sbornik materialov XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orenburg: OGU. - 2020. - S. 472-481.
15. Vlasov A.A., Pil'geykina I.A., Skorikova I.A. Metodika formirovaniya mnogoprogrammnogo upravleniya izolirovannym perekrestkom // Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie. - 2021. - T. 13. - №2. - S. 295-303.
16. Vlasov A. Features of Calculation of Traffic Light Control Modes in the Conditions of Intensive Road Traffic. 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities» // Transportation Research Procedia. - Vol. 20. - 2017. - P. 676-682.
17. Vlasov A.A., Orlov N.A. Upravlenie nasyshchennymi transportnymi potokami v gorodakh: monografiya. - Penza: Penzenskiy gosudarstvennyy universitet arkhitektury i stroitel'stva, 2014. - 187 s.
18. Vlasov A.A., Shirokov M.V. Problemy primeneniya algoritmov optimizatsii parametrov svetofornogo tsikla v real'nom vremeni // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta (gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta). - 2009. - №2(17). - S. 103-108.
19. Lana I., Del-Ser J., Velez M., Vlahogianni E.I. Road traffic forecasting: recent advances and new challenges // IEEE Intell. Transp. Syst. Mag. - 2018. - Vol. 10. - R. 93-109.
20. Vlasov A.A. Robastnoe prognozirovanie intensivnosti dvizheniya transportnykh potokov // International Journal of Advanced Studies. - 2022. - T. 12. - №2. - S. 7-20.

**Vlasov Aleksey Aleksandrovich**  
GBU «Safe region»  
Address: 440031, Russia, Penza, Okruzhnaya str., 3B  
Candidate of technical sciences  
E-mail: vlasov\_a71@mail.ru

**Kononov Vladimir Viktorovich**  
Penza state technological University  
Address: 440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd  
Doctor of technical sciences  
E-mail: kononov-penza@rambler.ru

Научная статья  
УДК 656.072(076.5)  
doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-75-81

М.В. БУЙЛОВА, С.И. КОРЯГИН

## МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ НАБОРА БАЗОВЫХ МАРШРУТОВ КАК ЭТАПА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

***Аннотация.** Статья посвящена одной из задач проектирования маршрутных сетей городского общественного транспорта: построению набора базовых маршрутов. Рассматривается методика построения указанного набора, учитывающая характеристики маневренности автобусов различного размерного класса и особенности улично-дорожной сети. Показана целесообразность использовать критерии оптимизации величину линейной плотности пассажиропотока. Предлагаемый подход позволяет учитывать экономические интересы участников перевозочного процесса.*

***Ключевые слова:** городской общественный транспорт, улично-дорожная сеть, маршрутная сеть, набор базовых маршрутов*

### **Введение**

Как известно планирование сети общественного транспорта принято делить на четыре укрупненных этапа: разработка транспортной модели города, оценка транспортного спроса, построение базовой маршрутной сети и последующая ее оптимизация. Первый этап предполагает процедуру транспортного районирования города. Результатом второго этапа является матрица пассажирских корреспонденций. Информация, полученная на первых двух этапах, является основой для построения набора возможных маршрутов, часть которых на четвертом этапе отсеивается в процессе оптимизации полученного набора на основе выбранного критерия. Таким образом, эффективность процесса планирования в значительной степени определяется степенью обоснованности методики работы на третьем этапе.

Методы решения задач первых двух этапов в основном разработаны, хотя не прекращаются работы по их совершенствованию [1-11].

В отношении задач третьего и четвертого этапа существующие подходы заметно различаются. В частности, имеются различные предложения по выбору критерия оптимизации. Наиболее часто используемым является критерий минимума времени поездки, также используются равномерное распределение пассажиропотока или транспортных единиц по маршрутам; наименьшая провозная плата без получения субсидий; наименьший объем запрашиваемых субсидий; продолжительность контракта; максимизация прибыли.

Такое количество используемых критериев показывает, что алгоритм решения задачи должен по возможности учитывать хотя бы основные из них. Несомненно, что должно быть в первоочередном порядке выполнено требование безопасности перевозок, а также минимизирован экологический ущерб, в частности одной из целей должно быть стремление снизить объемы выбросов парниковых газов. Последнее имеет не последнее значение в свете государственной политики в этом вопросе и международных обязательств Российской Федерации. По тематике безопасности перевозок и обеспечению экологической безопасности посвящены следующие работы авторов [12-19].

Целью данной работы является совершенствование алгоритма формирования набора базовых маршрутов с учетом комплексного характера задачи.

### **Материал и методы**

Вопросы планирования маршрутных систем общественного транспорта исследованы, на пример, в работе [20], в которой показано, что вследствие технической и организационной сложности систем городского общественного транспорта формирование маршрутной сети не должно быть случайным и бессистемным, это комплексная система обслуживания с социальной целью удовлетворения потребностей населения определенного региона в перемещении [21].

При проектировании маршрутных сетей определяют продолжительность времени в пути, время ожидания, величину пересадок, вместимость используемых транспортных

средств. В случае развития города, изменения законодательства или проведения массовых мероприятий государственного значения необходимо провести работы по изменению структуры транспортной сети города. Для обеспечения эффективности проектирования необходимо учитывать особенности улично-дорожной сети города. Оптимальное планирование маршрутной сети является решающим фактором, способствующим эффективному функционированию общественного транспорта [21].

Одним из основных показателей качества маршрутной сети транспортной системы или городской агломерации в целом является коэффициент пересадочности. Минимизация данного коэффициента благоприятно влияет на уменьшение времени на передвижение, но с другой стороны может привести к увеличению затрат времени на ожидание. Стоит отметить, что внедрение системы повременных и зональных тарифов на проезд позволит увеличить значение коэффициента пересадочности и как следствие уменьшить количество маршрутов в городе [22]. В настоящее время далеко не во всех городах внедрена система зональных и повременных тарифов, что объясняется технической и организационной неприспособленностью. В связи с этим требуется разработка предложений в вопросе оптимизации маршрутных систем, удовлетворяющих возможностям городов.

Как уже отмечено, одним из этапов планирования сети общественного транспорта является формирование набора базовых маршрутов. В рамках данного исследования рассмотрены подходы к формированию этого набора маршрутов с учетом параметров улично-дорожной сети, как фактора влияющего на безопасность движения.

Известно, что при массовых перевозках целесообразно использовать автобусы большей вместимости, что обычно объясняется экономическими причинами, то есть снижает издержки операторов. Это также обеспечивает меньшую нагрузку на улично-дорожную сеть, и, как правило, создает больший комфорт для пассажиров. Помимо этого, при прочих равных условиях обеспечивается меньший расход топлива в расчете на одно пассажироместо.

Таким образом, обеспечение возможности безопасного использования автобусов большего класса является одним из средств повышения эффективности, которое следует применять при планировании маршрутной сети. Такие автобусы по своим габаритным размерам и параметрам должны соответствовать основным геометрическим элементам городских дорог. Не все города имеют возможность безопасной эксплуатации без ограничений автобусов особо большой и большой вместимости.

Например, на изображении показан выезд автобуса на встречную полосу при повороте (рис. 1).

Очевидно, что такие особенности улично-дорожной сети, как геометрические (конфигурация перекрестков, радиус поворота, ширина проезжей части), необходимо учитывать при проектировании маршрутной сети общественного транспорта.

Строительные правила предусматривают планирование улично-дорожной сети с учетом характеристик транспортных средств. Понятно, что и в условиях уже существующей застройки городское транспортное планирование должно строиться с учетом такой взаимозависимости.

Таким образом, обеспечение возможности при планировании маршрутной сети городского общественного транспорта учитывать класс автобусов и назначать по возможности больший может являться одним из инструментов повышения эффективности и безопасности общественного городского транспорта. Следует отметить, что предполагается обеспечивать именно возможность использовать наибольший класс автобуса для части улично-дорожной сети, поскольку обычно количество и вместимость транспортных



*Рисунок 1 – Выезд автобуса на полосу встречного движения, по причине малого радиуса поворота пересечения*

средств на конкретном маршруте уточняется позднее при проектировании этого автобусного маршрута на основе прогнозируемого пассажиропотока и графика движения.

Наиболее распространенные критерии оптимизации, используемые при решении задачи, перечислены выше. Если принимать во внимание комплексный характер задачи, то представляется целесообразным при формировании набора базовых маршрутов использовать в качестве критерия оптимальности отношение числа перевозимых пассажиров к расстоянию перевозки - линейную плотность пассажиропотока, что очень примерно можно выразить как намерение перевозить возможно большее число пассажиров на возможно меньшее расстояние, то есть расходовать меньшее количество топлива на перевозку одного пассажира. Помимо чисто экологического аспекта в этом случае косвенно учитываются как интересы перевозчиков с точки зрения снижения издержек, так и интересы пассажиров с точки зрения стоимости проезда и в некоторой степени времени поездки. То есть данный критерий можно рассматривать как компромиссный для участников перевозочного процесса и общества.

Следует отметить, что на завершающей стадии проектирования, то есть при оптимизации набора базовых маршрутов возможно использование иного отличного от указанного критерия.

Таким образом, предлагается использовать два направления решения поставленной задачи: применение транспортных средств максимальной возможной вместимости и использование критерия, позволяющего минимизировать расход топлива.

### Теория

Предлагаемый подход реализуется следующим образом. Исходной информацией являются матрица межрайонных корреспонденций и помеченный взвешенный граф транспортной схемы города. Пассажиропотоки между несмежными вершинами графа - транспортными районами в соответствии с известным подходом распределяются по кратчайшему пути между этими узлами и, учитывая предлагаемый критерий, делятся на расстояние между центрами транспортных районов. В результате преобразованная исходная информация о пассажиропотоках может быть представлена в виде графа.

Улично-дорожная сеть делится на зоны по условию безопасного проезда автобусов соответствующего размерного класса, то есть в первую очередь по ширине полос движения и величинам радиусов поворота (рис. 2).

На первом шаге выделяется зона - подграф транспортной схемы города, допускающий безопасный проезд автобусов наибольшего из рассматриваемых размерных классов или группы классов (рис. 3).

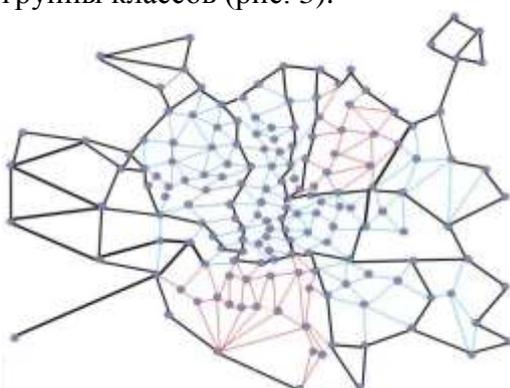


Рисунок 2 – Разделение на зоны (черный цвет – УДС для автобусов особо большого класса; голубой цвет – УДС для автобусов среднего класса; красный цвет - для автобусов особо малого и малого классов)

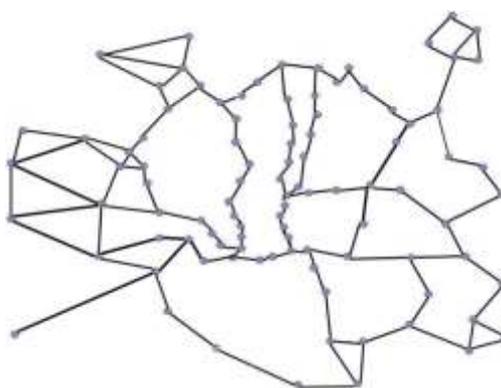


Рисунок 3 – Часть УДС (подграф) допускающая использование автобусов особо большого класса

Экспертным путем выбираются конечные пункты, если конечный пункт не очевиден, выбирается группа возможных конечных пунктов и вводится дополнительная вершина - фиктивный конечный пункт «равноудаленный» от выбранной группы. Определяется маршрут между выбранными конечными пунктами имеющий максимальную суммарную линейную плотность пассажиропотока. Для этого могут использоваться известные алгоритмы

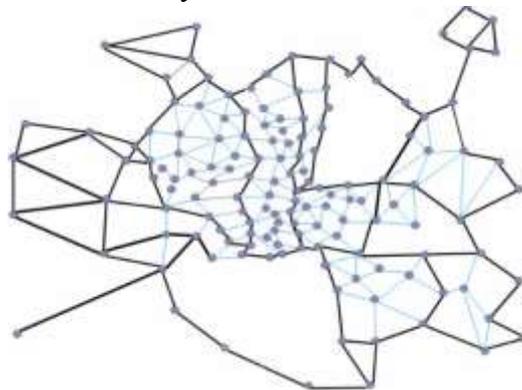
определения критического пути или определения кратчайшего пути с заменой исходных величин на обратные величины. Использование последнего представляется предпочтительным, так как исключает несколько искусственное преобразование ранее полученного графа в ориентированный граф, а также исключает возможные при этом преобразовании ошибки, связанные с появлением замкнутых циклов. После построения маршрута веса на соответствующих ребрах графа приравняются к нулю, либо, если планируется рассмотрение увеличенного числа базовых маршрутов, уменьшается пропорционально назначенному на основе экспертной оценки коэффициенту. Аналогично строятся другие маршруты.

На следующих шагах к рассмотренной части транспортной схемы поочередно добавляются подграфы транспортной схемы города других зон и для полученного таким способом нового подграфа (полного графа на последнем шаге) также строятся описанным способом маршруты для транспортных средств последующих классов. Таким образом, может быть сформирован набор возможных базовых маршрутов (рис. 4).

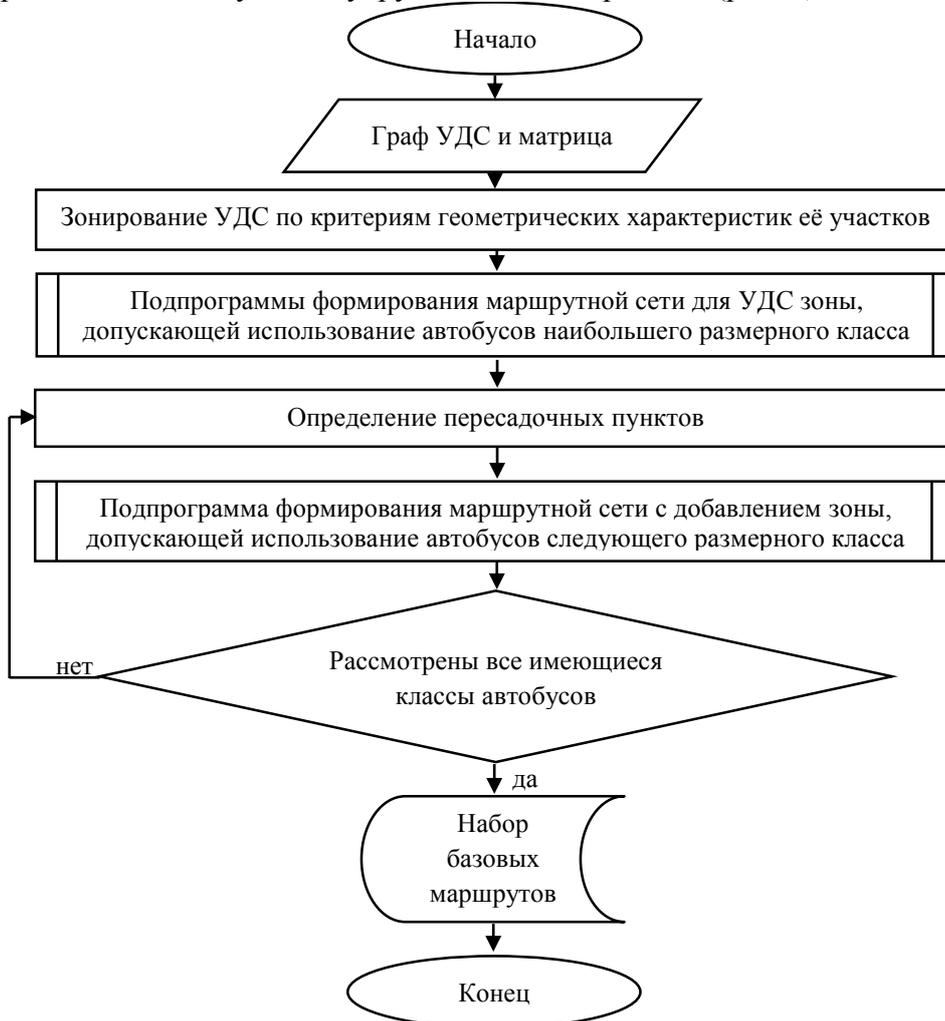
Вопрос назначения транспортно-пересадочных узлов в данном сообщении не рассматривается, но следует заметить, что в случае реализации предлагаемого подхода имеется возможность назначать транспортно-пересадочные узлы преимущественно на территории зоны, допускающей безопасный проезд автобусов наибольших из рассматриваемых размерных классов

**Результаты и обсуждение**

Описанная последовательность действий может быть представлена следующим укрупненным алгоритмом (рис. 5).



*Рисунок 4 – Часть УДС (подграф) допускающая использование автобусов особо большого и среднего классов*



*Рисунок 5 – Укрупнённый алгоритм*

Предлагаемый подход имеет следующие преимущества:

- позволяет учесть экономические и экологические факторы при формировании набора базовых маршрутов,
- дает возможность повысить безопасность перевозок,
- на каждом из этапов формирования маршрутной сети рассматривается меньшее число возможных маршрутов.

### **Выводы**

Разработан алгоритм проектирования маршрутной сети городского общественного транспорта с учетом характеристик геометрических параметров участков улично-дорожной сети с целью повышения эффективности и безопасности процесса перевозок. Для решения задачи использовались следующие направления: применение транспортных средств максимально возможной вместимости и использование критерия линейной плотности пассажиропотока. Данный критерий позволит принять в расчет интересы пассажиров с точки зрения стоимости проезда и в некоторой степени времени поездки и интересы перевозчиков с точки зрения снижения расхода топлива.

Исходной информацией являются матрица межрайонных корреспонденций и помеченный взвешенный граф транспортной схемы города. Пассажиропотоки между несмежными вершинами графа - транспортными районами в соответствии с известным подходом распределяются по кратчайшему пути между этими узлами и, учитывая предлагаемый критерий, делятся на расстояние между центроидами транспортных районов.

Город делится на зоны по условию безопасного проезда автобусов каждого из размерных классов поочередно, то есть в первую очередь по ширине полос движения и величинам радиусов поворотов.

При формировании набора базовых маршрутов описанный подход позволит повысить безопасность перевозок с учетом экономических и экологических факторов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Управление транспортными потоками в городах: Монография / Е.А. Андреева, К. Беттгер, Е.В. Белкова и др.; Под общей редакцией А.Н. Бурмистрова, А.И. Солодкого. – Москва: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – 207 с. – DOI 10.12737/monography\_5c934bfb92895.69806950.
2. Шавыраа Ч.Д., Желукевич Р.Б. Методика оптимизации внутригородских маршрутов пассажирского транспорта // Грузовик. – 2019. – №7. – С. 31-33.
3. Shesterov E., Drozdova I. Elaboration of a Coordinated Transport System in Course of Territorial Planning of Urban Areas Development // Transportation Research Procedia: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities». - Vol. 20. – Saint-Petersburg: Elsevier B.V. - 2017. – P. 608-612. – DOI 10.1016/j.trpro.2017.01.098.
4. Kazhaev A., Almetova Z., Shepelev V., Shubenkova K. Modelling urban route transport network parameters with traffic, demand and infrastructural limitations being considered // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 177, 012018. - 2018. - doi: 10.1088/1755-1315/177/1/012018.
5. Шаров М.И., Лебедева О.А. Влияние транспортного зонирования на функционирование маршрутной сети города // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – №2(62). – С. 196-202. – DOI 10.26731/1813-9108.2019.2(62).196-202.
6. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: Монография. - 2-е изд. - Пермь: Агентство РАДАР, 2022. - 535 с.
7. Зедгенизов А.В. Оптимизация планирования и организации перевозок населения при обслуживании центров массового тяготения урбанизированных территорий на основе формирования транспортного спроса / Под общей редакцией А.Н. Новиков // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. - 2020. – С. 20-26.
8. Makarova I.V., Shubenkova K.A., Mavrin V.G., Boyko A.D. Specifics of public transport routing in cities of different types // Computer Research and Modeling. – 2021. – Vol. 13. - №2. – P. 381-394. – DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-2-381-394.
9. Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A., Gavkalyuk B.V., Fakhmi Sh.S. Development of transport infrastructure organization model for modern cities with growing effectiveness // Transportation research Procedia: XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020). - Vol. 50. – Санкт-Петербург: Institute for Road Safety SPbGASU. - 2020. – P. 614-625.
10. Zhankaziev S. Current Trends of Road-traffic Infrastructure Development // Transportation Research Procedia: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities». - Vol. 20. – Saint-Petersburg: Elsevier B.V. - 2017. – P. 731-739. – DOI 10.1016/j.trpro.2017.01.118.
11. Rassokha V., Iskhakov M. Program and Target-Oriented and Situational Approaches in Management of Route Vehicles on Stopping Points // Transportation Research Procedia: 12th International Conference «Organization

and Traffic Safety Management in Large Cities». - Vol. 20. - Saint-Petersburg: Elsevier B.V. - 2017. - P. 550-555. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.089>.

12. Черняев И.О., Евтюков С.А. Использование данных мониторинга эксплуатации транспортных средств для оценки дорожных условий движения транспортных потоков // Мир транспорта. - 2021. - №19(4). - С. 34-39.

13. Черняев И.О., Евтюков С.А. Использование данных мониторинга эксплуатации транспортных средств для оценки дорожных условий движения транспортных потоков // Мир транспорта. - 2021. - Т. 19. - №4(95). - С. 34-39. - DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-4-4.

14. Технические средства для организации и безопасности дорожного движения: учебник / С.В. Жанказиев, В.Я. Буйленко, Ю.А. Короткова и др. - Москва: ООО «Техполиграфцентр», 2022. - 208 с.

15. Lieberman I., Klachek P., Korjagin S. Comparison of intelligent transportation systems based on biocybernetic vehicle control systems // Transportation Research Procedia. - Saint Petersburg. - 2020. - P. 355-362. - DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.042.

16. Pugachev I., Kulikov Y., Cheglov V. Features of traffic organization and traffic safety in cities // Transportation Research Procedia. - Saint Petersburg. - 2020. - P. 766-772. - DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.089.

17. Епифанов В.В., Обшивалкин М.Ю., Генералова К.А. Влияние технической эксплуатации пассажирского автомобильного транспорта на показатели качества перевозок в межрегиональном сообщении // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VII Международной научно-практической конференции. - В 2-х томах. - Т. 1. - Орел: Орловский государственный университет. - 2021. - С. 359-371.

18. Trofimenko Y.V., Komkov V.I., Donchenko V.V. Methods and results of forecasting number and structure of motor fleet in the russian federation by types of engine and fuel used for calculation of greenhouse gases emission till 2050 // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. - 2020. - Vol. 8. - №6. - P. 2707-2711. - DOI 10.30534/ijeter/2020/79862020.

19. Буйлова М.В., Корягин С.И. Проектирование маршрутных сетей общественного транспорта городов с учетом снижения эмиссии парниковых газов // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сборник научных трудов по материалам 81-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. - Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). - 2023. - С. 7-13.

20. Popova O., Gorev A., Shavyraa C. Principles of modern route systems planning for urban passenger transport // Transportation Research Procedia. - Vol. 36. - Saint Petersburg: Elsevier B.V., 2018. - P. 603-609. - DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.146.

21. Буйлова М.В. Формирование маршрутных сетей городского общественного транспорта // Технико-технологические проблемы сервиса. - 2022. - №1(59). - С. 45-52.

22. Якимов М.Р. Подходы к формированию эффективной маршрутной сети крупных // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. - 2022. - №3(55). - С. 107-113. - DOI 10.20291/2079-0392-2022-3-107-113.

**Буйлова Мария Валерьевна**

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта  
Адрес: 236041, Россия, г. Калининград, ул. А. Невского  
Старший преподаватель  
E-mail: MBuilova@kantiana.ru

**Корягин Сергей Иванович**

Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта  
Адрес: 236041, Россия, г. Калининград, ул. А. Невского  
Д.т.н., профессор  
E-mail: SKoryagin@kantiana.ru

M.V. BUILOVA, S.I. KORYAGIN

## THE METHODOLOGY OF FORMING A SET OF BASIC ROUTES AS A STAGE OF DESIGNING THE ROUTE NETWORK OF URBAN PUBLIC TRANSPORT

**Abstract.** *The article is devoted to one of the tasks of designing route networks of urban public transport: the construction of a set of basic routes. We consider the methodology of construction of this set, taking into account the characteristics of the maneuverability of buses of different size classes and the peculiarities of the street and road network. The expediency of using the linear density of passenger traffic as an optimization criterion is shown. The proposed approach makes it possible to take into account economic interests of participants in the transportation process.*

**Keywords:** *urban public transport, street and road network, route network, set of basic routes*

### BIBLIOGRAPHY

1. Upravlenie transportnymi potokami v gorodakh: Monografiya / E.A. Andreeva, K. Bettger, E.V. Belkova i dr.; Pod obshchey redaktsiey A.N. Burmistrova, A.I. Solodkogo. - Moskva: ООО «Nauchno-izdatel'skiy tsentr INFRA-M», 2019. - 207 s. - DOI 10.12737/monography\_5c934bfb92895.69806950.

2. Shavyraa Ch.D., ZHhelukevich R.B. Metodika optimizatsii vnutrigorodskikh marshrutov passazhirskogo transporta // Gruzovik. - 2019. - №7. - S. 31-33.

3. Shestеров E., Drozdova I. Elaboration of a Coordinated Transport System in Course of Territorial Planning of Urban Areas Development // Transportation Research Procedia: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities». - Vol. 20. - Saint-Petersburg: Elsevier B.V. - 2017. - P. 608-612. - DOI 10.1016/j.trpro.2017.01.098.

4. Kazhaev A., Almetova Z., Shepelev V., Shubenkova K. Modelling urban route transport network parameters with traffic, demand and infrastructural limitations being considered // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 177, 012018. - 2018. - doi: 10.1088/1755-1315/177/1/012018.
5. Sharov M.I., Lebedeva O.A. Vliyanie transportnogo zonirovaniya na funktsionirovanie marshrutnoy seti goroda // Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie. - 2019. - №2(62). - S. 196-202. - DOI 10.26731/1813-9108.2019.2(62).196-202.
6. Trofimenko Yu.V., Yakimov M.R. Transportnoe planirovanie: formirovanie effektivnykh transportnykh sistem krupnykh gorodov: Monografiya. - 2-e izd. - Perm': Agentstvo RADAR, 2022. - 535 s.
7. Zedgenizov A.V. Optimizatsiya planirovaniya i organizatsii perevozok naseleniya pri obsluzhivanii tsentrov massovogo tyagoteniya urbanizirovannykh territoriy na osnove formirovaniya transportnogo sprosa / Pod obshchey redaktsiyey A.N. Novikov // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Oriol: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. - 2020. - S. 20-26.
8. Makarova I.V., Shubenkova K.A., Mavrin V.G., Boyko A.D. Specifics of public transport routing in cities of different types // Computer Research and Modeling. - 2021. - Vol. 13. - №2. - P. 381-394. - DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-2-381-394.
9. Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A., Gavkalyuk B.V., Fakhmi Sh.S. Development of transport infrastructure organization model for modern cities with growing effectiveness // Transportation research Procedia: XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020). - Vol. 50. - Sankt-Peterburg: Institute for Road Safety SPbGASU. - 2020. - P. 614-625.
10. Zhankaziev S. Current Trends of Road-traffic Infrastructure Development // Transportation Research Procedia: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities». - Vol. 20. - Saint-Petersburg: Elsevier B.V. - 2017. - P. 731-739. - DOI 10.1016/j.trpro.2017.01.118.
11. Rassokha V., Iskhakov M. Program and Target-Oriented and Situational Approaches in Management of Route Vehicles on Stopping Points // Transportation Research Procedia: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities». - Vol. 20. - Saint-Petersburg: Elsevier B.V. - 2017. - P. 550-555. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.089>.
12. Chernyayev I.O., Evtyukov S.A. Ispol'zovanie dannykh monitoringa ekspluatatsii transportnykh sredstv dlya otsenki dorozhnykh usloviy dvizheniya transportnykh potokov // Mir transporta. - 2021. - №19(4). - S. 34-39.
13. Chernyayev I.O., Evtyukov S.A. Ispol'zovanie dannykh monitoringa ekspluatatsii transportnykh sredstv dlya otsenki dorozhnykh usloviy dvizheniya transportnykh potokov // Mir transporta. - 2021. - T. 19. - №4(95). - S. 34-39. - DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-4-4.
14. Tekhnichesknie sredstva dlya organizatsii i bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: uchebnik / S.V. ZHankaziev, V.Ya. Buylenko, Yu.A. Korotkova i dr. - Moskva: OOO «Tekhpolygon», 2022. - 208 s.
15. Lieberman I., Klachek P., Korjagin S. Comparison of intelligent transportation systems based on biocybernetic vehicle control systems // Transportation Research Procedia. - Saint Petersburg. - 2020. - P. 355-362. - DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.042.
16. Pugachev I., Kulikov Y., Cheglov V. Features of traffic organization and traffic safety in cities // Transportation Research Procedia. - Saint Petersburg. - 2020. - P. 766-772. - DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.089.
17. Epifanov V.V., Obshival'kin M.Yu., Generalova K.A. Vliyanie tekhnicheskoy ekspluatatsii passazhirskogo avtomobil'nogo transporta na pokazateli kachestva perevozok v mezhdunarodnom soobshchenii // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - V 2-kh tomakh. - T. 1. - Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet. - 2021. - S. 359-371.
18. Trofimenko Y.V., Komkov V.I., Donchenko V.V. Methods and results of forecasting number and structure of motor fleet in the russian federation by types of engine and fuel used for calculation of greenhouse gases emission till 2050 // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. - 2020. - Vol. 8. - №6. - P. 2707-2711. - DOI 10.30534/ijeter/2020/79862020.
19. Buylova M.V., Koryagin S.I. Proektirovanie marshrutnykh setey obshchestvennogo transporta gorodov s uchetom snizheniya emissii parnikovyykh gazov // Aktual'nye voprosy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: Sbornik nauchnykh trudov po materialam 81-oy nauchno-metodicheskoy i nauchno-issledovatel'skoy konferentsii MADI. - Moskva: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet (MADI). - 2023. - S. 7-13.
20. Popova O., Gorev A., Shavyraa C. Principles of modern route systems planning for urban passenger transport // Transportation Research Procedia. - Vol. 36. - Saint Petersburg: Elsevier B.V., 2018. - P. 603-609. - DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.146.
21. Buylova M.V. Formirovanie marshrutnykh setey gorodskogo obshchestvennogo transporta // Tekhniko-tekhnologichesknie problemy servisa. - 2022. - №1(59). - S. 45-52.
22. Yakimov M.R. Podkhody k formirovaniyu effektivnoy marshrutnoy seti krupnykh // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. - 2022. - №3(55). - S. 107-113. - DOI 10.20291/2079-0392-2022-3-107-113.

**Builova Maria Valerievna**

Immanuel Kant Baltic Federal University  
Address: 236041, Russia, Kaliningrad, A. Nevskogo str.  
Senior Lecturer  
E-mail: MBuilova@kantiana.ru

**Koryagin Sergey Ivanovich**

Immanuel Kant Baltic Federal University  
Address: 236041, Russia, Kaliningrad, A. Nevskogo str.  
Doctor of technical sciences  
E-mail: SKoryagin@kantiana.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-82-88

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

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ СОГЛАСОВАНИЕМ РАБОТЫ СВЕТОФОРНЫХ ОБЪЕКТОВ

***Аннотация.** Координация (согласование) режимов работы светофорной сигнализации на улично-дорожной сети городов приводит к повышению эффективности организации дорожного движения. Выявление транспортных проблем проводилось на основе мониторинга параметров дорожного движения и анализа статистики дорожно-транспортных происшествий. Расчет параметров координированного управления проводился с помощью имитационного моделирования в программе Avenue 2.0. Расчет оптимальной длительности светофорного цикла проводился на основе суммарной задержки и средней насыщенности цикла по самым насыщенным направлениям.*

***Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, управление транспортным средством, моделирование*

### **Введение**

Реализация эффективных схем организации дорожного движения возможна с помощью внедрения различных технических и управленческих решений. Возможным способом является координация (согласование) режимов работы светофорной сигнализации (светофоров) в границах улично-дорожной сети в соответствии с документацией по организации дорожного движения. Основным критерием оценки эффективности схем дорожного движения является оценка потери времени (задержки) в движении транспортных средств.

Города испытывают дорожно-транспортные проблемы, связанные с ростом транспортных и временных затрат населения, из-за несоответствия существующей схемы организации движения реальным условиям и потребностям населения и экономики. Качественное решение дорожно-транспортных проблем, без применения современных методов и технологий, невозможно. К таким технологиям относятся инструменты и методы имитационного транспортного моделирования.

### **Материал и методы**

Имитационное транспортное моделирование на сегодняшний день представляет собой наиболее подробный и совершенный способ оценки качества схем по организации дорожного движения. К исходным данным для транспортных моделей предъявляются повышенные требования. От качества сбора исходных данных, достоверности модели и компетентности транспортного инженера может зависеть эффективность финансовых вложений в развитие транспортного комплекса. На проектировщика транспортных моделей накладываются ответственность и предъявляются высокие квалификационные требования. Имитационное моделирование позволяет обосновать принятие решений по реконструкции улично-дорожной сети и повышению системной безопасности организации дорожного движения.

Разрабатываемая имитационная транспортная модель должна быть способна учитывать параметры, характеризующие условия движения, позволять, на основе результатов моделирования, рассчитывать технико-экономический эффект при осуществлении движения автотранспортных средств и других участников дорожного движения. Имитационное автотранспортное моделирование позволяет рассчитывать длительность светофорных циклов и основных тактов при минимизации потери времени (задержки) автотранспортных средств, имитировать движение участников дорожного движения, проводить расчет программ и графиков координации работы светофорных объектов.

Основными шагами создания имитационных транспортных моделей является:

- сбор, анализ и подготовка исходных данных для внесения в модель;
- внесение исходных данных в имитационную транспортную модель;

- верификация имитационной транспортной модели;
- калибровка имитационной транспортной модели;
- валидация имитационной транспортной модели;
- проведение имитационных экспериментов;
- анализ выходных данных.

### Теория / Расчет

Рассмотрим участок улицы Плеханова от перекрестка с улицей Гагарина до улицы Зегеля города Липецка. Ситуационный план участка дороги представлен на рисунке 1.

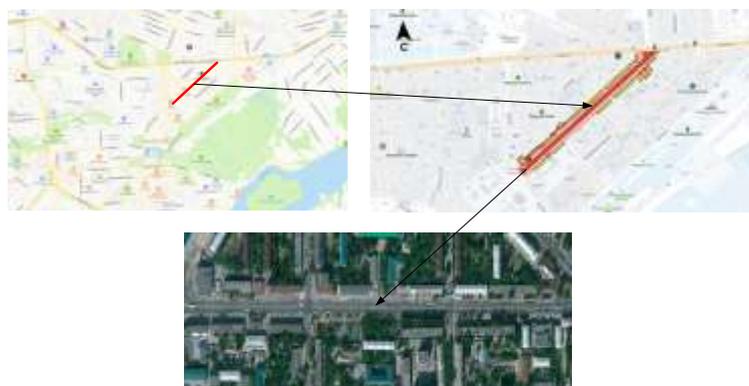


Рисунок 1 - Ситуационный план участка от перекрестка с улицей Гагарина до улицы Зегеля

Улица Плеханова - одна из основных магистральных улиц г. Липецка. Находится в Правобережном и Советском округе Липецка и проходит от улицы Советская до улицы Гагарина. Сбор, анализ и подготовка исходных данных проводилось на участке от улицы Гагарина до улицы Зегеля. Пересекает улицы Пролетарскую, Зегеля, Кузнечную, Сапёрную и Желябова. Параллельно проходит улица Интернациональная. Ул. Плеханова имеет одну проезжую часть, ширина которой равна 14 м. Проезжая часть имеет 4 полосы, ширина каждой полосы 3,5 м. Длина рассматриваемого участка составляет 800 метров. Данный участок городской улицы относится к классу обычная автомобильная дорога (нескоростная автомобильная дорога). Максимальная скорость движения на участке дороги 60 км/ч. Максимальная пропускная способность составляет 2100 авт./сут. Значение данной автомобильной дороги - автомобильная дорога местного значения. Через обследуемый участок дороги проходят следующие маршруты городского пассажирского транспорта: 2, 9т, 12, 33, 33а, 39, 44, 315, 345, 352, 359, 300, 302. На рассматриваемом участке улично-дорожной сети смонтировано асфальтобетонное покрытие, состояние покрытия - отличное. Дорожная разметка находится в нормативном состоянии. Выбранный участок улично-дорожной сети оборудован необходимыми дорожными знаками, установлена светофорная сигнализация.

Измерения интенсивности движения проводились в будний день в часы пик. Интенсивность движения транспортных средств неравномерна, но основной поток движется транзитно по улице Плеханова. Картограмма интенсивности движения и диаграмма состава потока приведены на рисунке 2.

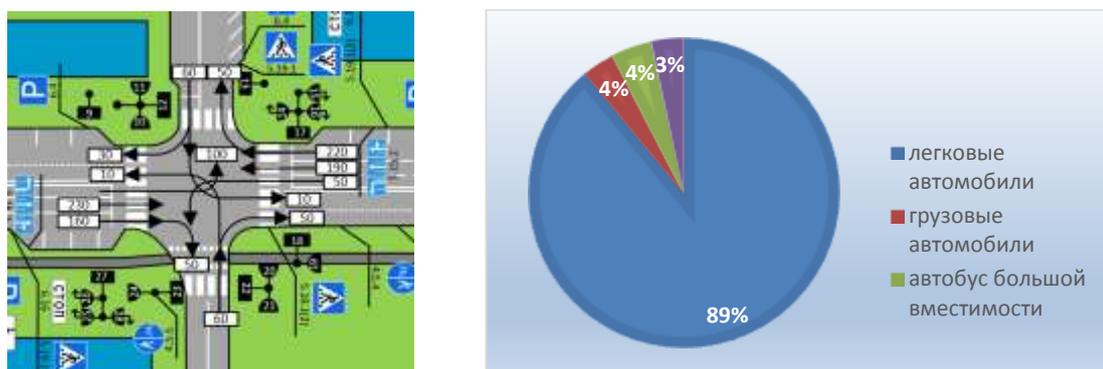
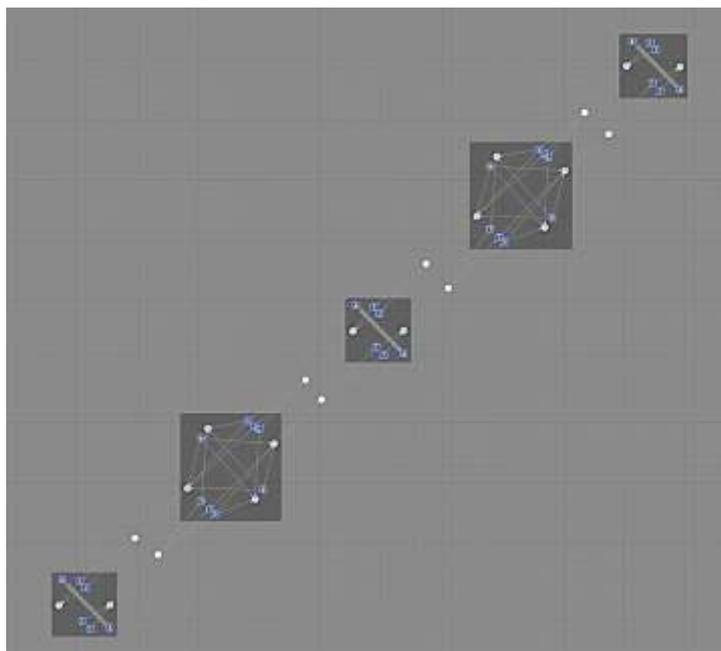


Рисунок 2 - Картограмма интенсивности движения и диаграмма состава потока

Создание модели регулируемых перекрестков дороги будем проводить в программе Avenue 2.0. Программа имитационного моделирования Avenue 2.0 создана для моделирования движения автотранспортных потоков, расчета длительности основным и промежуточным тактов светофорного регулирования, генерации и оптимизации режимов координации (согласования) движения автотранспортных средств на улично-дорожной сети и их пересечениях. Основная задача программы имитационного моделирования Avenue-2.0 - прогноз пешеходных и автомобильных потоков в транспортных сетях. Объект имитационного моделирования – рассматриваемая транспортная система с автодорогами, улицами и инженерными сооружениями. В результате моделирования транспортной сети проводится расчет оптимальной длительности цикла светофорного регулирования, расчет сдвигов для программ координации, создание диаграммы путь-время и определение потерь времени (задержек). Созданная имитационная транспортная модель приведена на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Имитационная модель улично-дорожной сети**

Моделирование пофазного разъезда транспортных средств и режима работы светофорной сигнализации на одном из перекрестков сети приведено на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Моделирование графика режима работы светофорной сигнализации**

Создав маршрут движения транспортных средств через 5 регулируемых перекрестков на магистрали были получены пространственно-временная диаграмма «Путь-время» (рис. 5) и параметры эффективности дорожного движения.

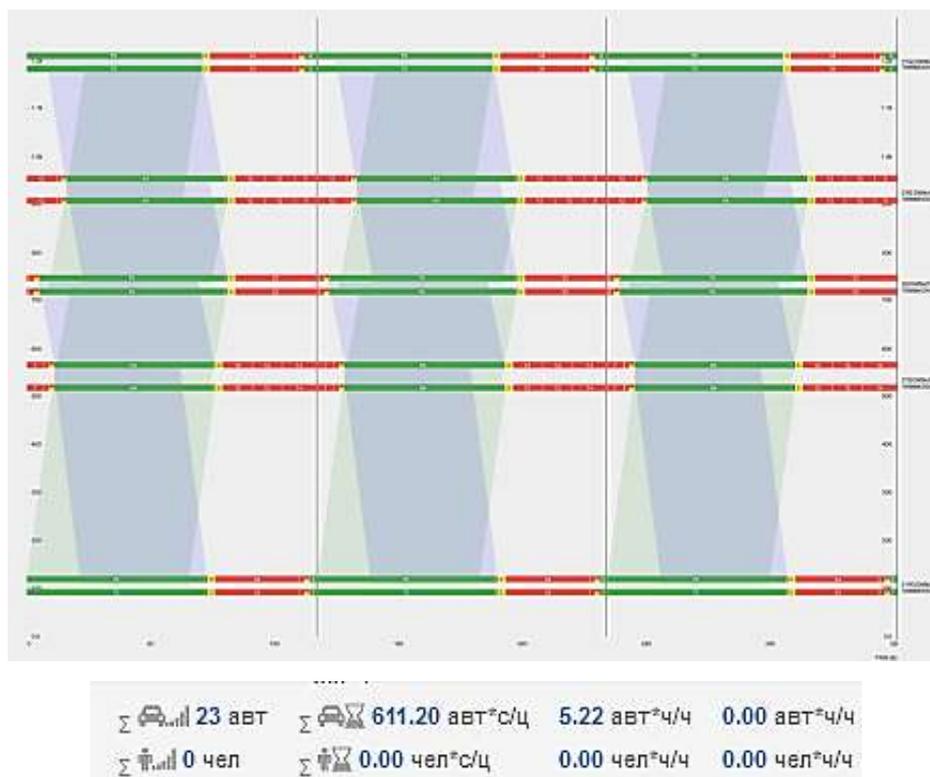


Рисунок 5 – Пространственно-временная диаграмма

Результаты расчета оптимальной длительности светофорного цикла и распределения разрешающего сигнала приведено на рисунке 6.

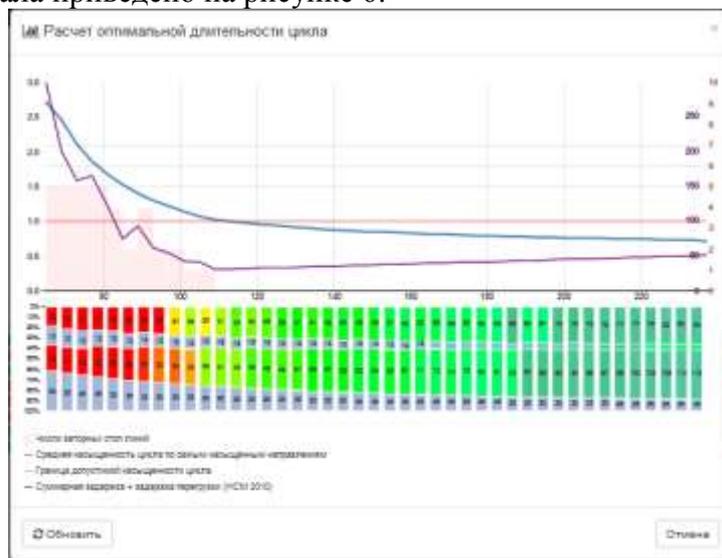


Рисунок 6 – Расчет оптимальной длительности светофорного цикла и распределения разрешающего сигнала

### Результаты и обсуждение

Для обеспечения безопасности и высокой эффективности организации дорожного движения по улице Плеханова с помощью программы Avenue 2.0 с учетом существующей дорожно-транспортной ситуации была создана имитационная модель автотранспортного потока, которая смоделировала режим согласованной (координированной) работы светофоров на сети. Параметр оптимизации режимов работы светофоров - суммарная задержка и средняя насыщенность цикла по самым насыщенным направлениям.

### **Выводы**

Применение согласования работы светофорной сигнализации на участке дороги снижает потери времени (задержку), повышает среднюю скорость движения автотранспортных средств и обеспечивает безопасность движения.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Pell A., Meingast A., Schauer O. Trends in real-time traffic simulation // *Transportation Research Procedia*. - 2017. - Т. 25. - P. 1477-1484.
2. Ляпин С.А., Ризаева Ю.Н., Кадасев Д.А., Кадасева И.М. Теоретические основы оценки вероятности возникновения ДТП в интеллектуальных транспортно-логистических системах // *Мир транспорта и технологических машин*. - 2020. - №2(69). - С. 94-102.
3. Jahnvi S., Prasanth G., Priyanka D., Sneheth A., Navya M. Intelligent Traffic Light Management System // *Proceedings of International Conference on Advances in Computer Engineering and Communication Systems. Learning and Analytics in Intelligent Systems*. – Vol. 20. - 2021. – P. 489-498. - DOI: 10.1007/978-981-15-9293-5\_45.
4. Кадасев Д.А. Илюшина М.А. Планирование мероприятий по организации дорожного движения с помощью имитационного моделирования // *Вестник Липецкого государственного технического университета*. - 2022. - №3(49). - С. 48-57.
5. Ляпин С.А., Кадасев Д.А., Воронин Н.В., Жеребцова Н.М. Аспекты цифровой трансформации транспортной отрасли в регионе // *Мир транспорта и технологических машин*. - 2022. - №3-3(78). - С. 117-126.
6. Аземша С.А., Капитанов П.И., Евланов В.И. Повышение эффективности дорожного движения на перекрестках внедрением адаптивного регулирования // *Наука и транспорт: Вестник Белорус. гос. ун. трансп.* - 2020. - №2(41).
7. Kapitanau P.I. Development of measures to reduce losses on controlled junctions // *Proceedings of the Twelfth Student International Scientific and Practical Conference: Collection of scientific works*. - 2020. - 136 p.
8. Lozhkin V., Lozhkina O., Rogozinsky G., Malygin I. On Information Technology Development for Monitoring of Air Pollution by Road and Water Transport in Large Port Cities (St. Petersburg, Vladivostok and Sevastopol) // *Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science*. - Vol. 1201. - 2018. - P. 384-396.
9. Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Шадрин А.В., Гаврилюк М.В. Имитационное моделирование в проектах ИТС: учебное пособие. - М.: МАДИ, 2016 - 92 с.
10. Баротова, А.Ж. Имитационная модель перекрестка с возможностью оптимизации светофорного регулирования / Под редакцией С.А. Пиявского, З.Ф. Камальдиновой // *Творческий потенциал – 2017: Сборник статей*. 2018. С. 26-35.
11. Zhang J., A. El Kamel. Virtual traffic simulation with neural network learned mobility mode // *Advances in Engineering Software*. - 2018. - Т. 115. - С. 103-111.
12. Зырянов В.В., Феофилова А.А., Чуклинов Н.Н. Динамическая маршрутизация транспортных потоков как метод снижения транспортной нагрузки на элементы УДС // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2018. – №1(60). – С. 74-80.
13. Жанказиев С.В., Нгуен С.Х. Анализ состояния дорожного движения методом экспертных оценок // *Наука и техника в дорожной отрасли*. – 2019. – №1(87). – С. 7-10.
14. Сильянов В.В., Капитанов В.Т., Моница О.Ю. О совершенствовании сетевого управления транспортными потоками в интеллектуальных транспортных системах / под общей редакцией А.Н. Новикова // *Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции*. – 2020. – С. 108-113.
15. Кадасев Д.А., Петросянц А.И. Организация светофорного регулирования на перекрестке улиц для повышения безопасности движения пешеходов // *Вестник Липецкого государственного технического университета*. - 2022. - №1(47). - С. 39-48.
16. Ляпин С.А., Кадасев Д.А., Воронин Н.В. Применение информационных технологий для оценки влияния интенсивности движения транспортных средств на время проезда магистрали // *Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения: IV Всеросс. науч. конф. с междунар. уч. Тольятти*. - 2021. - С. 271-277.
17. Загидуллин Р.Р., Дегтярев А.А. Применение координированного управления на магистральной улице города Казани - улице Восстания // *Техника и технология транспорта*. - 2021.- №1(20). - С. 9.
18. Ляпин С.А., Ризаева Ю.Н., Кадасев Д.А. Проактивное управление транспортными потоками городов выходящими на автомагистрали международных транспортных коридоров // *Мир транспорта и технологических машин*. - 2021. - №2(73). - С. 81-91.
19. Парсаев Е.В., Тетерина И.А., Кашталинский А.С.. Оценка загрязнения атмосферного воздуха транспортными потоками на перегонах улиц (на примере г. Омска) // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2018. – Т. 22. – №8(139). – С. 181–188. – DOI: 10.21285/1814–3520–2018–8–181–188.
20. Зверев Р.С. Методы управления и организации дорожного движения // *Техника и технология транспорта*. - 2020. - №4(19). - С. 11.

**Ляпин Сергей Александрович**

Липецкий государственный технический университет  
Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30  
Д.т.н., директор института машиностроения и транспорта  
E-mail: lyapinserg2012@yandex.ru

**Кадасев Дмитрий Анатольевич**

Липецкий государственный технический университет  
Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30  
К.т.н., доцент кафедры управления автотранспортом  
E-mail: kadasev@mail.ru

**Воронин Никита Владимирович**

Липецкий государственный технический университет  
Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30  
Аспирант  
E-mail: stels650n@mail.ru

---

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

## ENSURING THE EFFICIENCY OF TRAFFIC MANAGEMENT BY COORDINATING THE OPERATION OF TRAFFIC LIGHTS

***Abstract.** Coordination of the work of traffic lights on the street and road network of cities leads to an increase in the efficiency of traffic management. Identification of transport problems was carried out on the basis of monitoring of traffic parameters and analysis of traffic accident statistics. The calculation of the parameters of the coordinated control was carried out using simulation modeling in the Avenue 2.0 program. The calculation of the optimal duration of the traffic light cycle was carried out on the basis of the total delay and average saturation of the cycle in the most saturated directions.*

***Keywords:** road safety, vehicle management, simulation*

### BIBLIOGRAPHY

1. Pell A., Meingast A., Schauer O. Trends in real-time traffic simulation // Transportation Research Procedia. - 2017. - Т. 25. - R. 1477-1484.
2. Lyapin S.A., Rizaeva Yu.N., Kadasev D.A., Kadaseva I.M. Teoreticheskie osnovy otsenki veroyatnosti vozniknoveniya DTP v intellektual'nykh transportno-logisticheskikh sistemakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2020. - №2(69). - S. 94-102.
3. Jahnvi S., Prasanth G., Priyanka D., Snehet A., Navya M. Intelligent Traffic Light Management System // Proceedings of International Conference on Advances in Computer Engineering and Communication Systems. Learning and Analytics in Intelligent Systems. - Vol. 20. - 2021. - R. 489-498. - DOI: 10.1007/978-981-15-9293-5\_45.
4. Kadasev D.A. Ilyushina M.A. Planirovanie meropriyatiy po organizatsii dorozhnogo dvizheniya s pomoshch'yu imitatsionnogo modelirovaniya // Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2022. - №3(49). - S. 48-57.
5. Lyapin S.A., Kadasev D.A., Voronin N.V., ZHerebtsova N.M. Aspekty tsifrovoy transformatsii transportnoy otrasli v regione // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-3(78). - S. 117-126.
6. Azemsha S.A., Kapitanov P.I., Evlanov V.I. Povyshenie effektivnosti dorozhnogo dvizheniya na perekrestkakh vnedreniem adaptivnogo regulirovaniya // Nauka i transport: Vestnik Belorus. gos. un. transp. - 2020. - №2(41).
7. Kapitanau P.I. Development of measures to reduce losses on controlled junctions // Proceedings of the Twelfth Student International Scientific and Practical Conference: Collection of scientific works. - 2020. - 136 p.
8. Lozhkin V., Lozhkina O., Rogozinsky G., Malygin I. On Information Technology Development for Monitoring of Air Pollution by Road and Water Transport in Large Port Cities (St. Petersburg, Vladivostok and Sevastopol) // Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science. - Vol. 1201. - 2018. - P. 384-396.
9. ZHankaziev S.V., Vorob`ev A.I., Shadrin A.V., Gavrilyuk M.V. Imitatsionnoe modelirovanie v proektakh ITS: uchebnoe posobie. - M.: MADI, 2016 - 92 s.

10. Barotova, A.ZH. Imitatsionnaya model' perekriostka s vozmozhnost'yu optimizatsii svetofornogo regulirovaniya / Pod redaktsiyey S.A. Piyavskogo, Z.F. Kamal'dinovoy // *Tvorcheskiy potentsial* - 2017: Sbornik statey. 2018. S. 26-35.
11. Zhang J., A. El Kamel. Virtual traffic simulation with neural network learned mobility mode // *Advances in Engineering Software*. - 2018. - T. 115. - S. 103-111.
12. Zyryanov V.V., Feofilova A.A., Chuklinov N.N. Dinamicheskaya marshrutizatsiya transportnykh potokov kak metod snizheniya transportnoy nagruzki na elementy UDS // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2018. - №1(60). - S. 74-80.
13. ZHankaziev S.V., Nguen S.H. Analiz sostoyaniya dorozhnogo dvizheniya metodom ekspertnykh otsenok // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. - 2019. - №1(87). - S. 7-10.
14. Sil'yanov V.V., Kapitanov V.T., Monina O.Yu. O sovershenstvovanii setevogo upravleniya transportnymi potokami v intellektual'nykh transportnykh sistemakh / pod obshchey redaktsiyey A.N. Novikova // *Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. - 2020. - S. 108-113.
15. Kadasev D.A., Petrosyants A.I. Organizatsiya svetofornogo regulirovaniya na perekrestke ulits dlya povysheniya bezopasnosti dvizheniya peshekhodov // *Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. - 2022. - №1(47). - S. 39-48.
16. Lyapin S.A., Kadasev D.A., Voronin N.V. Primenenie informatsionnykh tekhnologiy dlya otsenki vliyaniya intensivnosti dvizheniya transportnykh sredstv na vremya proezda magistrali // *Informatsionnye tekhnologii v modelirovanii i upravlenii: podkhody, metody, resheniya: IV Vseross. nauch. konf. s mezhdunar. uch. Tol'yatti*. - 2021. - S. 271-277.
17. Zagidullin R.R., Degtyarev A.A. Primenenie koordinirovannogo upravleniya na magistral'noy ulitse goroda Kazani - ulitse Vosstaniya // *Tekhnika i tekhnologiya transporta*. - 2021. - №1(20). - S. 9.
18. Lyapin S.A., Rizaeva Yu.N., Kadasev D.A. Proaktivnoe upravlenie transportnymi potokami gorodov vykhodyashchimi na avtomagistrali mezhdunarodnykh transportnykh koridorov // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2021. - №2(73). - S. 81-91.
19. Parsaev E.V., Teterina I.A., Kashtalinskiy A.S.. Otsenka zagryazneniya atmosfernogo vozdukha transportnymi potokami na peregonakh ulits (na primere g. Omska) // *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. - 2018. - T. 22. - №8(139). - S. 181-188. - DOI: 10.21285/1814-3520-2018-8-181-188.
20. Zverev R.S. Metody upravleniya i organizatsii dorozhnogo dvizheniya // *Tekhnika i tekhnologiya transporta*. - 2020. - №4(19). - S. 11.

**Lyapin Sergey Alexandrovich**

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

**Kadasev Dmitry Anatolyevich**

Lipetsk State Technical University  
Address: 398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya str., 30  
Candidate of technical sciences  
E-mail: kadasev@mail.ru

**Voronin Nikita Vladimirovich**

Lipetsk State Technical University  
Address: 398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya str., 30  
Postgraduate student  
E-mail: stels650n@mail.ru

Научная статья

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-89-95

С.А. ВАХРУШЕВ, Л.С. ТРОФИМОВА, Б.С. ТРОФИМОВ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК В СУРОВЫХ УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

**Аннотация.** В статье представлены плановые показатели грузовых автомобильных перевозок в условиях Крайнего Севера, которые определены в результате эксперимента для реальных условий эксплуатации. В исследованиях использовались современные математические методы. Установлены вероятностные значения показателей – время на погрузку, время на выгрузку, расстояние, скорость, время на движение с применением специальной техники. Получены уравнения регрессионных зависимостей выработки и пробега от вероятностных показателей, позволившие определить план грузовых автомобильных перевозок.

**Ключевые слова:** план грузовых автомобильных перевозок, Крайний Север, уравнения регрессионных зависимостей

### Введение

В современных условиях транспорт является фундаментом развития экономики и социальной сферы [1]. Установлено, что состояние транспортных услуг определяет эффективность хозяйственных связей [2]. Роль транспортного обеспечения актуальна для всех регионов Российской Федерации, но наибольшую значимость она приобретает в условиях Крайнего Севера при добыче нефти и газа. Транспортное обеспечение производства в Арктической зоне является для России стратегическим интересом при освоении полезных ископаемых [3]. Перспективы развития Республики Саха (Якутия) связаны с транспортным развитием этой территории [4, 5]. Природно-климатические факторы с учетом негативных последствий климатических изменений являются решающими при оценке плановых показателей работы подвижного состава [6]. Внимание государства к проблеме планирования на транспорте обусловлено утверждением в 2021 году Правительством Российской Федерации обновлённой Транспортной стратегии страны до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [7]. Следует отметить, что плановые показатели по объему перевозок до 2035 года установлены в Транспортной стратегии РФ по энергосырьевому и инерционному вариантам развития. Современное развитие Северных территорий связано с перспективами автотранспортных перевозок [8].

Планирование автомобильного грузового транспорта на Крайнем Севере организуется в целях обеспечения транспортом предприятий по разведке и добыче нефти и газа, бурению скважин, обустройству месторождений (далее предприятий основного производства). Изучения влияния вероятностных показателей – время на погрузку, время на выгрузку, расстояние перевозок грузов, средняя техническая скорость, время на движение при перевозке грузов с применением специальной техники на плановые показатели – выработка в тоннах, выработка в тонно-километрах, пробег позволит снизить затраты на работу подвижного состава. В конечном итоге будет обеспечено снижение затрат на деятельность предприятий основного производства в суровых условиях Крайнего Севера, так как транспортные управления действуют в интересах предприятий основного производства и являются их структурными подразделениями [9].

Н.С. Захаров, А.Н. Макарова выполнили исследования в условиях Крайнего Севера Восточной Сибири и установили влияние среднесуточного пробега и длины рейса на выполнение ТО и ТР автомобилей [10].

В работе [11] установлено, что практика планирования транспортного обеспечения происходит зачастую с учетом исторически сложившихся условий работы цехов по добыче нефти и газа.

В работах [12, 13] установлено, что на плановые величины технико-эксплуатационных показателей работы подвижного состава оказывают влияние факторы, зависящие от технологии выполнения перевозочного процесса.

Эффективным методом для определения влияния факторов на результирующие показатели является системный анализ [14]. Для совершенствования процесса принятия решения требуется разработка математических моделей, синтезирующих факторы, влияющие на результирующий показатель [15]. И.Е. Агуреев делает вывод о необходимости учитывать несколько обстоятельств для эффективного планирования [16, 17].

И.И. Любимов, Н.Н. Якунин, Н.В. Якунина [18] установили, что количество подвижного состава грузового автомобильного транспорта влияет на показатели валовых региональных продуктов по отраслям.

Д.В. Гудков, В.В. Старынин [19] доказали, что расстояния перевозок оказывает влияние на результаты процесса перевозок грузов. А.В. Куликов, С.Ю. Фирсова, С.В. Дорохин [20] установили зависимость влияния технической скорости подвижного состава на плановые показатели перевозок грузов.

Н.М. Нечитайло [21] определил, что поиск оптимального плана перевозок возможен только с учётом всех факторов, оказывающих влияние на время доставки грузов.

В научных исследованиях [22, 30] доказана эффективность применения методов математической статистики и теории вероятностей, в том числе метода наименьших квадратов, предложенного Гауссом и Лежандром и позднее обоснованного Макаровым и Колмогоровым. Применение этих научных методов позволяет установить четкие границы доверительных интервалов плановых показателей при работе автомобильного транспорта.

Целью настоящего исследования является определение плановых значений вероятностных показателей в реальных условиях эксплуатации автомобильного транспорта Якутии (Саха).

Задачами настоящего исследования являются:

- провести исследования за изменениями вероятностных показателей – время на погрузку, время на выгрузку, расстояние перевозок грузов, средняя техническая скорость, время на движение при перевозке грузов с применением специальной техники;

- установить закон распределения случайных величин с доверительной вероятностью 0,95;

- определить значения показателей – время на погрузку, время на выгрузку, расстояние перевозок грузов, средняя техническая скорость, время на движение при перевозке грузов с применением специальной техники в доверительных границах с вероятностью 0,95;

- выявить наличия регрессионной зависимости выработки и пробега от вероятностных показателей – время на погрузку, время на выгрузку, расстояние перевозок грузов, средняя техническая скорость, время на движение при перевозке грузов с применением специальной техники;

- определить значения показателей плановых показателей – выработка в тоннах, выработка в тонно-километрах, пробег;

- разработать рекомендации для практического применения плановых показателей.

Научная новизна заключается в том, что впервые в результате натурных наблюдений в реальных условиях эксплуатации подвижного состава (условия Крайнего Севера) установлены доверительные границы значений плановых вероятностных показателей. Сделан вывод о наличии нормального закона распределения вероятностных величин.

#### ***Материал и методы***

В целях установления закона распределения случайных величин использовались методы теории вероятностей и математической статистики. Использованы значения середины интервала. Оценка достоверности о наличии вероятностного закона распределения показателей – время на погрузку, время на выгрузку, расстояние перевозок грузов, средняя техническая скорость, время на движение при перевозке грузов с применением специальной техники сделана в результате проверки по критериям Пирсона и Колмогорова. Расчет выполнен в программе Statistica.

Многофакторные регрессионные зависимости получены с применением метода наименьших квадратов. Оценка достоверности о наличии регрессионной зависимости между факторами и результатом выполнена с применением критерия Фишера. Уравнения много-

факторных регрессионных зависимостей получены с применением функции «Анализ данных» в программе Excel.

Объем выборки составил свыше 50 наблюдений, уровень доверительной вероятности  $\alpha=0,05$ .

**Теория**

Теоретическая значимость исследований определена в результате установленных значений вероятностных показателей и определении коэффициентов в уравнениях многофакторных регрессионных моделей зависимостей.

Исследование вероятностных величин проводилось при перевозке грузов седельными тягачами в Республике Саха (Якутия) для IVECO-AMT 733910 С/Т, MAN TGS 41.480 BB-WW 45832С, MAZ-MAN 646559 С/Т.

Результаты фиксировались с применением системы контроля, расположенной на подвижном составе. Фрагмент натурных наблюдений представлен на рисунке 1.



*Рисунок 1 - Фрагмент натурных наблюдений  
Фото сделано лично аспирантом С.А.Вахрушевым*

Анализ проведенных наблюдений позволил получить опытные значения показателей.

В результате выполненных расчетов получены статистические таблицы со значениями показателей.

**Результаты и обсуждение**

В результате выполненных исследований получены значения верхних границ и нижних границ доверительных интервалов, математическое ожидание с доверительной вероятностью 0,95, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Плановые вероятностные показатели

Показатель	Значение		
	Верхняя граница доверительного интервала	Нижняя граница доверительного интервала	Математическое ожидание
Расстояние перевозок грузов, км	122	116	119
Средняя техническая скорость, км/ч	38,4	34,6	36,4
Время на погрузку, ч	0,92	0,82	0,87
Время на выгрузку, ч	0,62	0,55	0,58
Время на движение при перевозке грузов с применением специальной техники, ч	2,81	1,78	2,25

Подтверждена гипотеза о подчинении вероятностных значений нормальному закону распределения.

На основании полученных опытным путём статистических данных об общем пробеге подвижного состава и выполненных показателях в тоннах и тонно-километрах, при использовании средних значений интервального ряда были получены регрессионные зависимости:

$$y = a_0 + a_1 \cdot t_B + a_2 \cdot t_{II} + a_3 \cdot V_{CT} + a_4 \cdot l_{PII} + a_5 \cdot t_{ДВ}$$

где  $y$  – среднее расчетное значение функции отклика (в настоящем исследовании выработка в тоннах –  $y_T$ , выработка в тонно-километрах –  $y_{T \cdot KM}$ , пробег –  $y_{KM}$ );

$a_0$  – начальная ордината;

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  – коэффициента при факторах;

$t_B$  – время на выгрузку, ч;

$t_{II}$  – время на погрузку, ч;

$V_{CT}$  – средняя техническая скорость, км/ч;

$l_{PII}$  – расстояние перевозок грузов, км;

$t_{ДВ}$  – время на движение при перевозке грузов с применением специальной техники, ч.

$$y_{KM} = 131,467 - 726,201 \cdot t_B + 435,863 \cdot t_{II} + 2,796 \cdot V_{CT} + 0,299 \cdot l_{PII} + 5,923 \cdot t_{ДВ} ;$$

$$y_T = 10,784 + 18,692 \cdot t_B - 17,814 \cdot t_{II} - 0,517 \cdot V_{CT} + 0,331 \cdot l_{PII} + 0,766 \cdot t_{ДВ} ;$$

$$y_{T \cdot KM} = -2432,568 + 3301,449 \cdot t_B - 2821,041 \cdot t_{II} - 74,7757 \cdot V_{CT} + 74,662 \cdot l_{PII} + 85,667 \cdot t_{ДВ}$$

В результате анализа выявлено наличие множественной регрессионной зависимости плановых показателей работы подвижного состава от вероятностных значений. Получены значения верхних границ и нижних границ доверительных интервалов, математическое ожидание с доверительной вероятностью 0,95, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Плановые выработка и пробег

Показатель	Значение		
	Верхняя граница доверительного интервала	Нижняя граница доверительного интервала	Математическое ожидание
Выработка, т·км	3498,35	3285,70	3391,50
Выработка, т	28,67	28,33	28,50
Пробег, км	200,76	183,06	191,20

### **Выводы**

В результате выполненных исследований достигнута цель и решены поставленные задачи.

Впервые установлены вероятностные значения, представленные в таблице 1.

Установлено, что значения вероятностных показателей подчиняются нормальному закону распределения случайных величин с доверительной вероятностью 0,95.

Выявлено наличие регрессионной зависимости плановых показателей – выработка и пробег от вероятностных показателей – время на погрузку, время на выгрузку, расстояние перевозок грузов, средняя техническая скорость, время на движение при перевозке грузов с применением специальной техники.

Впервые установлены значения:

- выработка в тоннах от 28,33 до 28,67;
- выработка в тонно-километрах от 3498,35 до 3285,70;
- пробег от 183,06 км до 200,76 км.

Плановые показатели позволят определить значение затрат при использовании грузового автомобильного транспорта в работе и рассчитать необходимое количество автомобилей для выполнения перевозок для обеспечения деятельности предприятий основного производства в суровых условиях Крайнего Севера.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савосина М.И. Оценка эффективности устойчивого развития транспорта // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. - №2(87). – С. 50-66. – DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-50-66.
2. Фрейдман О.А. Методологические аспекты классификации и управления транспортными системами // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. - №4(89). – С. 34-52. – DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-34-52.
3. Полешкина И.О. Транспортная система Республики Саха (Якутия): анализ состояния и проблемы развития // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19. - №4(95). – С. 82-91. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-4-9.
4. Филиппова Н.А., Иванова А.Е., Ишков А.М. Перспективы развития транспортной доступности Арктических улусов Республики Саха (Якутия) // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-2(80). – С. 50-56. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-50-56.
5. Алпатов А.А., Зырянов В.В. Разработка модели временных затрат смешанных грузоперевозок СПГ по Северному Морскому Пути // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3-2(78). – С. 32-38. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-32-38.
6. Якубович А.Н., Якубович И.А. Оценка климатических рисков в отношении транспортной инфраструктуры северных регионов России // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – №2. – С. 96-104. – DOI 10.25198/2077-7175-2021-2-96.
7. Карлов А.В. Транспортная политика: теоретическая база и экономические аспекты // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20. - №1(98). – С. 60-65. – DOI 10.30932/1992-3252-2022-20-1-7.
8. Киселенко А.Н., Сундуков Е.Ю. Оптимистический и пессимистический сценарии формирования транспортных подходов к Арктической транспортной системе на основе достижения целевых показателей // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. - №6(91). – С. 46-62. – DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-6-46-62.
9. Вахрушев С.А., Трофимов Б.С., Трофимова Л.С. Математическое моделирование производственных показателей работы подвижного состава с учетом условий Крайнего Севера // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №4. – С. 88–99.
10. Makarova A.N., Zakharov N.S. The regularity model of the average daily mileage and trip length influence on actual frequency of car engineering servicing // Iop conference series: earth and environmental science. – 2019.- P. 20-40. - DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032040.
11. Козин Е.С. Определение потребности в транспортно-технологических машинах на основе кластеризации цехов по добыче нефти и газа // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №4. – С. 140-150. – DOI 10.25198/2077-7175-2022-4-140.
12. Горенькова В.С., Кравец Ю.Д. Технология комплексного подхода к планированию перевозок и выгрузки колесной и гусеничной техники в Арктической зоне Российской Федерации // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – №8. – С. 42-50. – DOI 10.36535/0236-1914-2020-08-7.
13. Гусев С.А., Терентьев А.С. Оптимизация существующей технологии перевозок грузов с нефтеперерабатывающих предприятий и структуры взаимодействия участников логистической системы // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3-5(78). – С. 88-97. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-88-97.
14. Персианов В.А., Курбатова А.В., Курбатова Е.С. О системном подходе к обоснованию проектно-плановых решений на транспорте и в других отраслях экономики // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2022. – №1. – С. 23-28. – DOI 10.36535/0236-1914-2022-01-4.
15. Грачев М.И., Бурлов В.Г. Математическое моделирование в социальных и экономических системах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2021. – Т. 15. - №5. – С. 38-45. – DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-5-38-45.
16. Агуреев И.Е. Развитие теории макросистем как необходимое условие повышения качества транспортного моделирования // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. - № 2(87). – С. 6-20. – DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-06-20.
17. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Математическая модель транспортного поведения на основе теории транспортных макросистем // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19. - №6(97). – С. 13-18. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-6-2.
18. Любимов И.И., Якунин Н.Н., Якунина Н.В. Результаты исследования взаимосвязи количества единиц подвижного состава грузового автомобильного транспорта и валовых региональных продуктов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №5. – С. 74-84. – DOI 10.25198/2077-7175-2022-5-74
19. Гудков Д.В., Старьнин В.В. Влияние расстояния перевозок грузов на эксплуатационные расходы автотранспортного предприятия // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. - №6(91). – С. 158-169. – DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-6-158-169.

20. Куликов А.В., Фирсова С.Ю., Дорохин С.В. Сокращение транспортных затрат при перевозке строительных грузов за счет увеличения технической скорости подвижного состава // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – №1(68). – С. 79-86. – DOI 10.33979/2073-7432-2020-68-1-79-86.

21. Нечитайло Н.М. Задачи транспортного типа по критерию времени с учётом характеристик применяемых транспортных средств // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19. – №3(94). – С. 74-80. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-3-8.

22. Воронцова М.О., Подгорный А.В. Исследование статистических показателей при определении трудоемкости ремонтов автотранспортных средств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2022. – №2(69). – С. 3-6.

23. Трофимов Б.С. Методика нормирования расходования топлива для легковых автомобилей в городских условиях эксплуатации // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №4-1(79). – С. 13-22. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-13-22.

**Вахрушев Сергей Александрович**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

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

Аспирант.

E-mail: cv-omsk@yandex.ru

**Трофимова Людмила Семеновна**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

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

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

E-mail: trofimova\_ls@mail.ru

**Трофимов Борис Сергеевич**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ).

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

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

E-mail: trofim\_bs@mail.ru

---

S.A. VAKHRUSHEV, L.S. TROFIKOVA, B.S. TROFIKOVI

## DETERMINATION OF PLANNED INDICATORS OF CARGO ROAD TRANSPORTATION IN THE SEVERE CONDITIONS OF THE FAR NORTH

***Abstract.** The article presents the planned indicators of road freight transportation in the conditions of the Far North, which are determined as a result of the experiment for real operating conditions. The research used modern mathematical methods. The probabilistic values of indicators are established - time for loading, time for unloading, distance, speed, time for movement using special equipment. The equations of regression dependences of production and mileage on probabilistic indicators are obtained, which made it possible to determine the plan for road freight transportation.*

***Keywords:** road freight transportation plan, Far North, equations of regression dependencies*

### BIBLIOGRAPHY

1. Savosina M.I. Otsenka effektivnosti ustoychivogo razvitiya transporta // Mir transporta. - 2020. - Т. 18. - №2(87). - S. 50-66. - DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-50-66.
2. Freydmann O.A. Metodologicheskie aspekty klassifikatsii i upravleniya transportnymi sistemami // Mir transporta. - 2020. - Т. 18. - №4(89). - S. 34-52. - DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-34-52.
3. Poleshkina I.O. Transportnaya sistema Respubliki Sakha (Yakutiya): analiz sostoyaniya i problemy razvitiya // Mir transporta. - 2021. - Т. 19. - №4(95). - S. 82-91. - DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-4-9.
4. Filippova N.A., Ivanova A.E., Ishkov A.M. Perspektivy razvitiya transportnoy dostupnosti Arkticheskikh ulusov Respubliki Sakha (Yakutiya) // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-2(80). - S. 50-56. - DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-50-56.
5. Alpatov A.A., Zyryanov V.V. Razrabotka modeli vremennykh zatrat smeshannykh gruzoperevozok SPG po Severnomu Morskому Puti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-2(78). - S. 32-38. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-32-38.
6. YAkubovich A.N., Yakubovich I.A. Otsenka klimaticheskikh riskov v otnoshenii transportnoy infrastruktury severnykh regionov Rossii // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2021. - №2. - S. 96-104. - DOI 10.25198/2077-7175-2021-2-96.

7. Karlov A.V. Transportnaya politika: teoreticheskaya baza i ekonomicheskie aspekty // *Mir transporta*. - 2022. - T. 20. - №1(98). - S. 60-65. - DOI 10.30932/1992-3252-2022-20-1-7.
8. Kiselenko A.N., Sundukov E.Yu. Optimisticheskii i pessimisticheskii stsenarii formirovaniya transportnykh podkhodov k Arkticheskoy transportnoy sisteme na osnove dostizheniya tselevykh pokazateley // *Mir transporta*. - 2020. - T. 18. - №6(91). - S. 46-62. - DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-6-46-62.
9. Vakhrushev S.A., Trofimov B.S., Trofimova L.S. Matematicheskoe modelirovanie proizvodstvennykh pokazateley raboty podvizhnogo sostava s uchetom usloviy Kraynego Severa // *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. - 2022. - №4. - S. 88-99.
10. Makarova A.N., Zakharov N.S. The regularity model of the average daily mileage and trip length influence on actual frequency of car engineering servicing // *Iop conference series: earth and environmental science*. - 2019. - R. 20-40. - DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032040.
11. Kozin E.S. Opredelenie potrebnosti v transportno-tehnologicheskikh mashinakh na osnove klasterizatsii tsekhov po dobyche nefiti i gaza // *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. - 2022. - №4. - S. 140-150. - DOI 10.25198/2077-7175-2022-4-140.
12. Gorenkova V.S., Kravets Yu.D. Tekhnologiya kompleksnogo podkhoda k planirovaniyu perezozok i vygruzki kolesnoy i gusenichnoy tekhniki v Arkticheskoy zone Rossiyskoy Federatsii // *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik*. - 2020. - №8. - S. 42-50. - DOI 10.36535/0236-1914-2020-08-7.
13. Gusev S.A., Terentev A.S. Optimizatsiya sushchestvuyushchey tekhnologii perezozok gruzov s neftepere-rabatyvayushchikh predpriyatii i struktury vzaimodeystviya uchastnikov logisticheskoy sistemy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2022. - №3-5(78). - S. 88-97. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-88-97.
14. Persianov V.A., Kurbatova A.V., Kurbatova E.S. O sistemnom podkhode k obosnovaniyu proektno-planovykh resheniy na transporte i v drugikh otraslyakh ekonomiki // *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik*. - 2022. - №1. - S. 23-28. - DOI 10.36535/0236-1914-2022-01-4.
15. Grachev M.I., Burlov V.G. Matematicheskoe modelirovanie v sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh // *T-Comm: Telekommunikatsii i transport*. - 2021. - T. 15. - №5. - S. 38-45. - DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-5-38-45.
16. Agureev I.E. Razvitie teorii makrosistem kak neobkhodimoe uslovie povysheniya kachestva transportnogo modelirovaniya // *Mir transporta*. - 2020. - T. 18. - № 2(87). - S. 6-20. - DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-06-20.
17. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Matematicheskaya model' transportnogo povedeniya na osnove teorii transportnykh makrosistem // *Mir transporta*. - 2021. - T. 19. - №6(97). - S. 13-18. - DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-6-2.
18. Lyubimov I.I., Yakunin N.N., Yakunina N.V. Rezul'taty issledovaniya vzaimosvyazi kolichestva edinits podvizhnogo sostava gruzovogo avtomobil'nogo transporta i valovykh regional'nykh produktov // *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. - 2022. - №5. - S. 74-84. - DOI 10.25198/2077-7175-2022-5-74
19. Gudkov D.V., Starynin V.V. Vliyaniye rasstoyaniya perezozok gruzov na ekspluatatsionnye raskhody avtotransportnogo predpriyatiya // *Mir transporta*. - 2020. - T. 18. - №6(91). - S. 158-169. - DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-6-158-169.
20. Kulikov A.V., Firsova S.Yu., Dorokhin S.V. Sokrashcheniye transportnykh zatrat pri perezozke stroitel'nykh gruzov za schet uvelicheniya tekhnicheskoy skorosti podvizhnogo sostava // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2020. - №1(68). - S. 79-86. - DOI 10.33979/2073-7432-2020-68-1-79-86.
21. Nechitaylo N.M. Zadachi transportnogo tipa po kriteriyu vremeni s uchiotom kharakteristik primenyaemykh transportnykh sredstv // *Mir transporta*. - 2021. - T. 19. - №3(94). - S. 74-80. - DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-3-8.
22. Vorontsova M.O., Podgornyy A.V. Issledovanie statisticheskikh pokazateley pri opredelenii trudoemkosti remontov avtotransportnykh sredstv // *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. - 2022. - №2(69). - S. 3-6.
23. Trofimov B.S. Metodika normirovaniya raskhodovaniya topliva dlya legkovykh avtomobiley v gorodskikh usloviyakh ekspluatatsii // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2022. - №4-1(79). - S. 13-22. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-13-22.

**Vakhrushev Sergey Aleksandrovich**

Siberian State Automobile and Highway University  
Address: 644080, Russia, Omsk, av. Mira, 5  
Postgraduate  
E-mail: cv-omsk@yandex.ru

**Trofimov Boris Sergeevich**

Siberian State Automobile and Highway University  
Address: 644080, Russia, Omsk, av. Mira, 5  
Candidate of technical sciences  
E-mail: trofim\_bs@mail.ru

**Trofimova Liudmila Semenovna**

Siberian State Automobile and Highway University  
Address: 644080, Russia, Omsk, av. Mira, 5  
Doctor of technical sciences  
E-mail: trofimova\_ls@mail.ru

Научная статья

УДК 656.11

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-96-101

А.В. ЗЕДГЕНИЗОВ, Т.Б. БРЯНСКИХ, С.Ю. КУРДЮКОВ

## ОРГАНИЗАЦИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТНОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ЖИТЕЛЕЙ МНОГОЭТАЖНОЙ ЗАСТРОЙКИ

***Аннотация.** В статье изложены результаты проведённых натурных исследований, представлена обработка полученного массива агрегированных данных. Приведены результаты, позволяющие характеризовать интенсивность автомобильного транспорта на рассматриваемом участке улично-дорожной сети. Определены факторы, влияющие на интенсивность транспортных потоков и необходимую парковочную площадь, выявлены зависимости интенсивности автомобильного транспорта индивидуального пользования от площади многоэтажных жилых зданий, от доли корреспонденций, совершаемых на индивидуальном автомобильном транспорте, от удаленности от центра города.*

***Ключевые слова:** многоэтажный жилой комплекс, организация дорожного движения, транспортный спрос, генерация корреспонденций, интенсивность транспортных потоков*

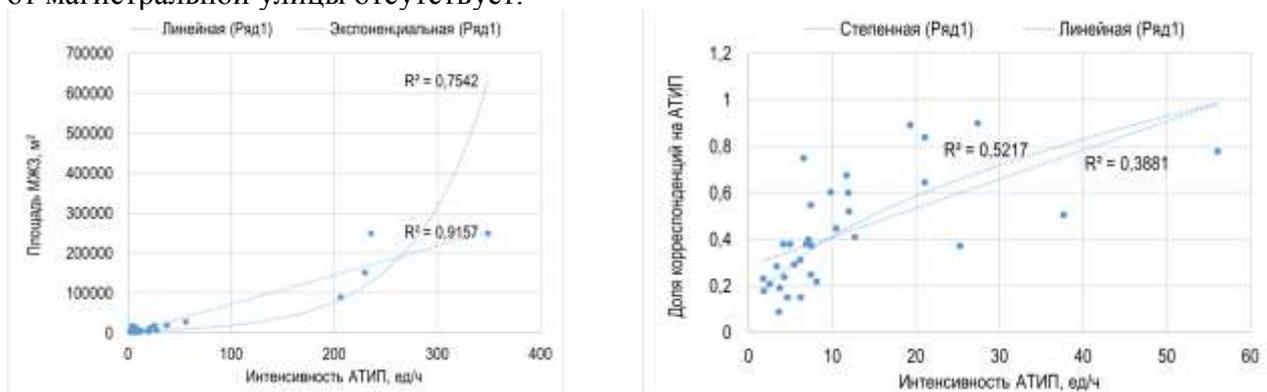
### **Введение**

Фундамент индустриализации в западных странах в течение 19-го начала 20-го веков, а в России в 20-е – 30-е годы 20-го века, стал основой современного мира и к настоящему моменту преобразил его до неузнаваемости, прежде всего, в окружающих нас вещах, предметах быта, но главное этот фундамент изменил образ жизни современного человека, проник в самые важные и сокровенные устои бытия и быта, изменил восприятие окружающего мира, подменил его ценности. Таким образом, современное общество нуждается в крупных скоплениях людей, часто называемыми человеками, а в научной классификации в зависимости от численности [18] – городами. Крупные и крупнейшие города нашей современности, не говоря уже об мегаполисах, имеющих особый статус с позиций транспортного обслуживания, привлекают не только своей производственной базой, но и сервисом, в котором нуждаются жители трудящиеся на основном производстве. Справедливости ради, стоит отметить, что последние тенденции развития городов, особенно в странах запада, которые в середине прошлого столетия попытались вынести производство в третьи страны, направлены на создание городов – не создающего реального внутреннего валового продукта, а концентрирующихся исключительно на услугах финансово-кредитного сектора, медицине, режиссуры образования и культуры.

Перечисленные факторы требуют научно-обоснованных подходов к организации жизнедеятельности людей на ограниченном пространстве городской среды. Важно отметить, что ограничение этого пространства отталкивается от норм времени, которое может потратить человек из своего суточного фонда на передвижение, прежде всего, по трудовым целям. Такие нормы прописаны в том же нормативном документе [18], как правило, это не более 45 минут для крупнейших городов. Конечно, их можно существенно сократить, повышая скорость сообщения в рамках городов и их агломераций, но существующие виды транспорта не позволяют это сделать кардинально. Самые лучшие по согласованности расписания и пересадочных узлов транспортные системы реализуют скорости сообщения близкие к 22-25 км/ч, поэтому расширение существующего города невозможно. В этой связи с середины прошлого столетия проблему начали решать за счёт уплотнения застройки и увеличения её этажности. Средняя этажность новостроек в крупных городах России с численностью населения более 300 000 человек составила 12,6 этажа. Невооруженным взглядом видно, что российские города продолжают неумолимо расти вверх. Среди городов-миллионников самые высокие дома возводятся в Москве (20,5 этажа), Екатеринбурге (17,4 этажа) и Красноярске (17,1 этажа). Такое уплотнение застройки приводит к перегрузке сетей коммунальных служб, социальных объектов и объектов транспорта в виде сетей городского пассажирского транспорта, а также улиц и дорог.

**Материал и методы**

Для достижения поставленной цели необходимы натурные испытания и обработка полученных в ходе них результатов. В ходе проведённых натурных исследований был получен массив агрегированных данных позволяющий характеризовать интенсивность автомобильного транспорта индивидуального использования (АТИП) за рассматриваемый час, что позволяет оценить степень влияния разных факторов на искомую величину. Проведя исследование факторов, влияющих на интенсивность транспортных потоков, и необходимую парковочную площадь, были выявлены зависимости интенсивности АТИП от площади МЖЗ, от доли корреспонденций, совершаемых на АТИП, от удаленности от центра города. Следует помнить о исследованиях, проводимых в России и за рубежом для сопоставления полученных результатов с мировыми трендами. Зависимость интенсивности АТИП от удаленности от магистральной улицы отсутствует.



**Рисунок 1 - Зависимость Интенсивности АТИП от: слева – площади многоэтажной жилой застройки; справа – доли корреспонденций, совершаемых на АТИП**

**Теория**

Наибольшее влияние на интенсивность АТИП оказывает средняя доля корреспонденций АТИП, площадь многоэтажной застройки, соответственно, именно эти параметры должны входить в модель формирования интенсивности транспортных потоков. Проведённый предварительный корреляционный анализ, а также принимая во внимание целый перечень ранее проведённых исследований [10] можно предложить эмпирическую зависимость, позволяющую оценивать интенсивность АТИП, возникающую в результате жизнедеятельности МЖЗ.

**Таблица 1 - Результаты регрессионного анализа интенсивности АТИП**

Регрессионно-корреляционная статистика						
Коэффициент корреляции R		0,910323272				
R-квадрат		0,828688459				
Нормированный R-квадрат		0,807274516				
Стандартная ошибка		34,94081514				
Групп наблюдений/выборка		37/4670				
Дисперсионный анализ						
	Число степеней свободы	Дисперсия	Критерий Фишера-Снедекора F			
			$F_{расч}$	$F_{95\%;4;32}$		
Регрессия	4	188982,1178	38,69	2,87		
Остаток	32	39067,538				
Итого	36	228049,6558				
t-статистика						
	Коэффициенты регрессии	t-статистика	95%-й доверительный предел			
			$t_{расчет}$	$t_{95\%;32}$	нижний	верхний
<b>Y</b> Интенсивность АТИП, ед/сутки	106,0034	2,652536507	2,02		24,60139168	187,4056071
<b>X1</b> Площадь объекта, м²	0,00089144	9,643889839			0,000703154	0,001079725
<b>X2</b> Доля АТИП средняя	58,2746603	2,087003513			1,398091612	115,151229
<b>X3</b> Расстояние объекта от центра города, м	0,007702956	3,476333572			0,003189463	0,012216449
<b>X4</b> Среднее Наполнение АТИП, чел	-109,8826116	-4,396737832			-160,789343	-58,9758794

Из таблицы видно, что итоговое значение множественного коэффициента корреляции по шкале Чеддока, определяющая тесноту связи, соответствует весьма высокой связи. Коэффициент детерминации, считающийся наиболее эффективным критерием оценки тесноты связи, показывает высокую связь. Незначительное расхождение стандартного и нормированного коэффициентов детерминации 0,82 и 0,80, что составляет не более 4 % свидетельствует о высокой степени репрезентативности выборки. Критерий Фишера-Снедекора – показатель достоверности влияния изучаемых факторов на полученный результат (значимость эмпирического уравнения в целом) 38,69 в значительной степени превышает критическое значение 2,87 для рассматриваемого уровня значимости, что позволяет сделать вывод о том, что перечень рассматриваемых факторов в целом значимо описывает функцию отклика. Критерий Стьюдена, являясь универсальным инструментом сравнения статистической значимости равенства выборок, также позволяет оценить статистическую значимость коэффициентов регрессии и, соответственно, сделать окончательный вывод на предмет их окончательного включения в регрессионную модель. Из столбца «t-статистика» видно, что ни одно значение расчётного критерия Стьюдента не опускается ниже критического значения 2,02 для рассматриваемого уровня значимости, что в свою очередь, позволяет утверждать, что все используемые факторы статистически значимо влияют на функцию отклика, в том числе и свободный член эмпирической зависимости.

### **Результаты и обсуждение**

Таким образом, для практического применения следует рекомендовать следующую зависимость, позволяющую вычислить интенсивность АТИП, возникающую на запыляющих пересечениях МЖЗ:

$$N_{\text{АТИП}} = 106 + 0,0009 \cdot S + 58,27 \cdot D_{\text{АТИП}} + 0,008 \cdot L_{\text{ц}} - 109,88 \cdot E_{\text{АТИП}}, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь объекта МЖЗ, м<sup>2</sup>;

$D_{\text{АТИП}}$  – доля жителей (посетителей) использующих АТИП;

$L_{\text{ц}}$  – расстояние МЖЗ от центра города, м;

$E_{\text{АТИП}}$  – среднее наполнение АТИП, чел.

Совершенно очевидно, что эмпирическое уравнение будет адекватно отображать функцию отклика только в допустимых пределах, представленных в таблице 2.

Таблица 2 - Допустимые диапазоны факторов

Факторы	Значение диапазона
Площадь объекта, м <sup>2</sup>	$2356 \leq S \leq 249000$
Доля АТИП средняя	$0,2 \leq D_{\text{АТИП}} \leq 0,9$
Расстояние объекта от центра города, м	$880 \leq L_{\text{ц}} \leq 12196$
Среднее наполнение АТИП, чел	$1,15 \leq E_{\text{АТИП}} \leq 1,97$

В рамках применяемого диапазона значений, интенсивность в пиковый период может колебаться от незначительных значений на уровне, не превышающем 5-10 ед/час, до значений в 240-250 ед/час, что при низкой пропускной способности УДС может вызвать существенные задержки и снижение качества транспортного обслуживания. Доля АТИП в рассматриваемом контексте распространяется в весьма широком диапазоне, который обусловлен наличием высокоэтажной застройки, находящейся на достаточном удалении от магистральных улиц и располагающие всей сопутствующей инфраструктурой для использования АТИП в качестве основного средства передвижения. Более подробно об этом написано во 2-ой главе. Совершенно очевидно, что удалённость от центра города также будет иметь влияние на объём корреспонденций и, соответственно на интенсивность АТИП. Минимальная удалённость рассматривает МЖЗ в историческом центре города, в котором несмотря на тенденции крупных и крупнейших городов последнего времени в Иркутске она сохраняется. Максимальное удаление на 12 км соответствует самым новейшим тенденциям расширения городских территория, плавно приближая их к субурбанизированным территориям и поглощая последние. Среднее наполнение АТИП показывает разброс от минимума, при котором автомобиль используется почти в одиночку и двумя пассажирами. Зависимость интенсивности АТИП от предложенных факторов продемонстрирована на рисунке 2.

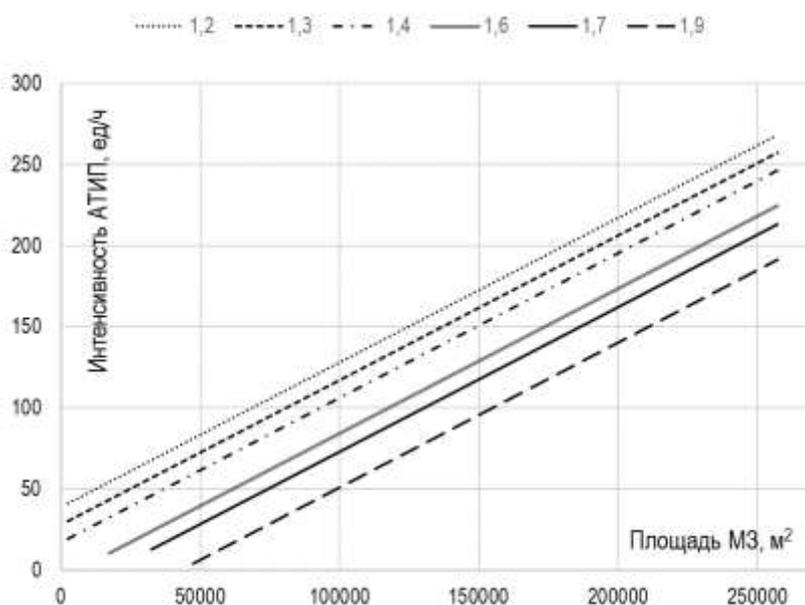


Рисунок 2 - Зависимость интенсивности АТИП от площади многоэтажной застройки при разном среднем наполнении АТИП (чел./ТС) и средней доли АТИП 0,45; расстояния ЖМЗ от центра города 5000 м.; коэффициенте суточного максимума 0,14

Совершенно справедливо следует отметить, что интенсивность АТИП растёт с увеличением площади ЖМЗ, а с увеличением среднего наполнения снижается. Например, при площади ЖМЗ 150 000 м<sup>2</sup> интенсивность АТИП соответствует 100 ед/ч при наполнении 1,9 чел./ТС и порядка 175 ед/ч при наполнении 1,2 чел./ТС. Для наполнения АТИП 1,4 чел./ТС можно вывести общую линейную закономерность:

$$N_{\text{АТИП}} = 16.9 + 0,0009 \cdot S, \quad (2)$$

т.е. каждая тысяча квадратных метров МЖЗ генерирует примерно 1,22 ед./ч АТИП, при прочих усреднённых параметрах модели 1. Не менее важным с практической точки зрения являются зависимости АТИП от доли МЖЗ, использующих АТИП (рис. 3).

Интенсивность АТИП растёт с увеличением площади МЖЗ и с увеличением доли посетителей на АТИП. Например, при площади ЖМЗ 150 000 м<sup>2</sup> интенсивность АТИП соответствует 140 ед./ч при доле АТИП 0,2 и порядка 175 ед./ч при доле 0,8.

### Выводы

В заключении следует отметить, что строительство новых микрорайонов и уплотнение застройки нуждаются в анализе и детальном расчётах, позволяющих оценивать степень влияния МЖЗ на прилегающую улично-дорожную сеть, что позволит уже на стадии проектирования прогнозировать качество организации движения в зоне МЖЗ, распространяющегося не только на пользователей АТИП, но и на участников транзитного движения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинкин М.Я., Решетова Е.М. Безопасность дорожного движения. История вопроса, международный опыт, базовые инструкции. - М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2013.

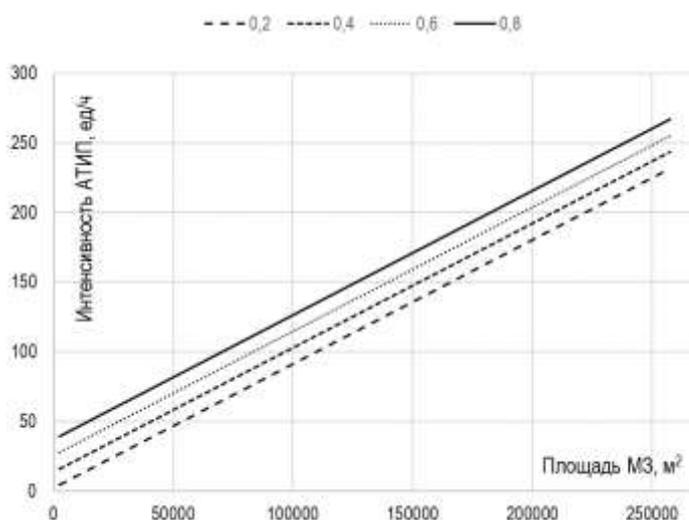


Рисунок 3 - Зависимость интенсивности АТИП от площади МЖЗ при разной доле использования АТИП и среднем наполнении АТИП 1,4 чел./ТС; расстояния МЖЗ от центра города 5000 м.; коэффициенте суточного максимума 0,14

2. Бурков Д.Г. Методика оценки транспортного спроса к объектам культурно-бытовой направленности на основе количественных характеристик территорий // Вестник ИрГТУ. - 2017. – Т. 21. - №1. – С. 218-224.
3. Вуцан Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни. - Изд-во «Территория будущего», 2011.
4. Жанказиев С.В., Нгуен С.Х. Анализ состояния дорожного движения методом экспертных оценок // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2019. – №1(87). – С. 7-10.
5. Зедгенизов А.В. Организация дорожного движения на основе оценки транспортного спроса к центрам массового тяготения по параметрам их расположения на урбанизированных территориях // Транспортное планирование и моделирование: Сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. - СПб.: СПбГАСУ. – 2019. – С. 68-73.
6. Зедгенизов А.В. Оценка качества организации дорожного движения на основе транспортного спроса: монография. – Иркутск: ИРНТИУ, 2019. – 196 с.
7. Зедгенизов А.В. Оценка транспортного спроса по параметрам функционирования центров массового тяготения на урбанизированных территориях // Мир транспорта и технологических машин. - №3(66). – 2019. – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019. – С. 91-97.
8. Зедгенизов А.В., Капский Д.В., Лагереv Р.Ю. Оценка влияния объектов капитального строительства на прилегающую улично-дорожную сеть при организации дорожного движения посредством регулируемых пересечений // НАУКА и ТЕХНИКА. – 2021. - №20(6). – С. 506-513.
9. Зедгенизов А.В. Оценка влияния объектов капитального строительства на прилегающую улично-дорожную сеть при организации дорожного движения по средствам нерегулируемых пересечений // Техника и технология транспорта. - №5 (13). – 2019. – С. 57-63.
10. Зедгенизов А.В. Повышение эффективности дорожного движения на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта: Дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2008.
11. Зедгенизов А.В., Ефременко И.А. Оценка транспортного спроса к субурбанизированным территориям // Вестник гражданских инженеров. – Вып. 3 (80). - 2020. – С. 178-182.
12. Зедгенизов А.В. Концепция взаимодействия между градостроительной политикой и качеством организации дорожного движения // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 264-267.
13. Зедгенизов А.В. Лагереv Р.Ю. Оценка генерации корреспонденций к жилому микрорайону на периферии крупного города: Материалы IV Международной научно-практической конференции проблемы развития транспортных систем и логистики. - Луганск: СТУ им. В. Даля. - 2013. – С. 180-181.
14. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке и прогнозированию характеристик транспортного спроса при проектировании организации дорожного движения и планировании развития транспортной инфраструктуры. - М.: РОСАВТОДОР, 2012. – 148 с.
15. ОДМ 218.2.032-2013. Методические рекомендации по учету движения транспортных средств на автомобильных дорогах. – М.: РОСАВТОДОР, 2013. – 95 с.
16. Преловская Е.С. К вопросу о городской мобильности в современном градостроительстве // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – №4-3. – С. 135-136.
17. Прогнозирование развития застройки центров крупных городов на основе анализа реализации проектной документации / под ред. К.Ф. Неустроева, Б.Е. Смирнова // Сб. научных тр. – М.: ЦНИИП град-ва. - 1988.
18. СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. - Москва, 2016.
19. Якимов М.Р. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах: Монография. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2011. – 175 с.

**Зедгенизов Антон Викторович**

Иркутский национальный исследовательский технический университет  
Адрес: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83  
Д.т.н., доцент кафедры нефтегазового дела  
E-mail: azedgen@gmail.com

**Брянских Татьяна Борисовна**

Иркутский национальный исследовательский технический университет  
Адрес: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83  
Старший преподаватель кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем  
E-mail: broocha@yandex.ru

**Курдюков Сергей Юрьевич**

Иркутский национальный исследовательский технический университет  
Адрес: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83  
Студент  
E-mail: skurdyukov1@gmail.ru

---

A.V. ZEDGENIZOV, T.B. BRYANSKIKH, S.YU. KURDYUKOV

**ORGANIZATION OF TRAFFIC IN THE TRANSPORT SERVICE OF  
RESIDENTS OF MULTI-STORY BUILDINGS**

**Abstract.** The article presents the results of field studies, presents the processing of the resulting array of aggregated data. The results are presented that allow us to characterize the intensity of road transport on the considered section of the road network. The factors influencing the intensity of traffic flows and the required parking space are determined, the dependences of the intensity of individual motor transport on the area of multi-storey residential buildings, on the proportion of correspondence carried out by individual motor transport, on the distance from the city center are revealed.

**Keywords:** multistory residential complex, traffic management, transport demand, generation of correspondence, intensity of traffic flows

## BIBLIOGRAPHY

1. Blinkin M.Ya., Reshetova E.M. Bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya. Istoriya voprosa, mezhdunarodnyy opyt, bazovye instruksii. - M.: Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki, 2013.
2. Burkov D.G. Metodika otsenki transportnogo sprosа k ob`ektam kul`turno-bytovoy napravlenosti na osnove kolichestvennykh kharakteristik territoriy // Vestnik IrGTU. - 2017. - T. 21. - №1. - S. 218-224.
3. Vukan R. Vuchik. Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni. - Izd-vo «Territoriya budushchego», 2011.
4. Zhankaziev S.V., Nguen S.H. Analiz sostoyaniya dorozhnogo dvizheniya metodom ekspertnykh otsenok // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. - 2019. - №1(87). - S. 7-10.
5. Zedgenizov A.V. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya na osnove otsenki transportnogo sprosа k tsentram massovogo tyagoteniya po parametram ikh raspolozheniya na urbanizirovannykh territoriyakh // Transportnoe planirovanie i modelirovanie: Sb. tr. IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. - SPb.: SPbGASU. - 2019. - S. 68-73.
6. Zedgenizov A.V. Otsenka kachestva organizatsii dorozhnogo dvizheniya na osnove transportnogo sprosа: monografiya. - Irkutsk: IRNITU, 2019. - 196 s.
7. Zedgenizov A.V. Otsenka transportnogo sprosа po parametram funktsionirovaniya tsentrov massovogo tyagoteniya na urbanizirovannykh territoriyakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - №3(66). - 2019. - Oriol: OGU imeni I.S. Turgenova, 2019. - S. 91-97.
8. Zedgenizov A.B., Kapskiy D.V., Lagerev R.Yu. Otsenka vliyaniya ob`ektov kapital`nogo stroitel`stva na prilegayushchuyu ulichno-dorozhnuyu set` pri organizatsii dorozhnogo dvizheniya posredstvom reguliruemyykh peresecheniy // NAUKA i TEHNIKA. - 2021. - №20(6). - S. 506-513.
9. Zedgenizov A.V. Otsenka vliyaniya ob`ektov kapital`nogo stroitel`stva na prilegayushchuyu ulichno-dorozhnuyu set` pri organizatsii dorozhnogo dvizheniya po sredstvam nereguliruemyykh peresecheniy // Tekhnika i tekhnologiya transporta. - №S (13). - 2019. - S. 57-63.
10. Zedgenizov A.V. Povyshenie effektivnosti dorozhnogo dvizheniya na ostanovochnykh punktakh gorodskogo passazhirskogo transporta: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Irkutsk, 2008.
11. Zedgenizov A.V., Efremenko I.A. Otsenka transportnogo sprosа k suburbanizirovannym territoriyam // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - Vyp. 3 (80). - 2020. - S. 178-182.
12. Zedgenizov A.V. Kontseptsiya vzaimodeystviya mezhdru gradostroitel`noy politikoy i kachestvom organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Arkhitekturno-stroitel`nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii: Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - 2019. - S. 264-267.
13. Zedgenizov A.V., Lagerev R.Yu. Otsenka generatsii korrespondentsiy k zhilomu mikrorayonu na periferii krupnogo goroda: Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii problemy razvitiya transportnykh sistem i logistiki. - Lugansk: SNU im. V. Dalya. - 2013. - S. 180-181.
14. ODM 218.2.020-2012. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke i prognozirovaniyu kharakteristik transportnogo sprosа pri proektirovaniy organizatsii dorozhnogo dvizheniya i planirovaniy razvitiya transportnoy infrastruktury. - M.: ROSAVTODOR, 2012. - 148 s.
15. ODM 218.2.032-2013. Metodicheskie rekomendatsii po uchetu dvizheniya transportnykh sredstv na avtomobil`nykh dorogakh. - M.: ROSAVTODOR, 2013. - 95 s.
16. Prelovskaya E.S. K voprosu o gorodskoy mobil`nosti v sovremennom gradostroitel`stve // Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologiy. - 2016. - №4-3. - S. 135-136.
17. Prognozirovaniye razvitiya zastroyki tsentrov krupnykh gorodov na osnove analiza realizatsii proektnoy dokumentatsii / pod red. K.F. Neustroeva, B.E. Smirnova // Sb. nauchnykh tr. - M.: TSNIP grad-va. - 1988.
18. SP 42.13330.2016. Svod pravil. Gradostroitel`stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel`skikh poseleniy. - Moskva, 2016.
19. Yakimov M.R. Kontseptsiya transportnogo planirovaniya i organizatsii dvizheniya v krupnykh gorodakh: Monografiya. - Perm': Perm. gos. tekhn. un-t, 2011. - 175 s.

### Zedgenizov Anton Viktorovich

Irkutsk National Research Technical University  
Address: 664074, Russia, Irkutsk, Lermontova str., 83  
Doctor of technical sciences  
E-mail: azedgen@gmail.com

### Kurdyukov Sergey Yurievich

Irkutsk National Research Technical University  
Address: 664074, Russia, Irkutsk, Lermontova str., 83  
Student  
E-mail: skurdyukov1@gmail.ru.

### Bryanskikh Tatyana Borisovna

Irkutsk National Research Technical University  
Address: 664074, Russia, Irkutsk, Lermontova str., 83  
Senior lecturer  
E-mail: broocha@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.015

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-102-108

Д.Г. НЕВОЛИН, А.А. ЦАРИКОВ

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЕТОФОРНЫХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕШЕХОДНОГО ДВИЖЕНИЯ

***Аннотация.** В статье рассмотрены проблемные вопросы в существующей методике расчета светофорных объектов с точки зрения организации пешеходного движения. Разработаны новые формулы, позволяющие более точно проводить перерасчеты фазовых коэффициентов для объектов, где пешеходы не успевают преодолеть проезжую часть за время разрешающего такта. Предложен новый алгоритм расчета тактов и циклов светофорного регулирования с учетом перерасчета фаз достаточных по длительности для пропуска пешеходов через проезжую часть.*

***Ключевые слова:** организация дорожного движения, светофорное регулирование, пешеходное движение*

### **Введение**

Современные подходы к развитию улично-дорожной сети и организации движения, требуют от проектировщиков отдельного внимания к процессу движения пешеходов. Как показали исследования различных специалистов по безопасности дорожного движения [1-3], пешеходы являются наиболее уязвимыми участниками движения.

Отличительной особенностью дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов, является их высокая травматичность и тяжесть последствий. Практически любой наезд автомобиля на пешехода приводит к травмам различной степени тяжести [4].

### **Материал и методы**

Исторически сложилось, что наибольшее число дорожно-транспортных происшествий происходит в городских условиях. При этом как указывает ряд авторов [5, 6], чем больше численность населения города, тем выше доля ДТП с участием пешеходов.

Над проблемой безопасности пешеходного движения, одновременно работают специалисты и ученые различных отраслей науки. Специалисты по градостроительству, указывают на то, что качественные пешеходные коммуникации [7-10], способствуют снижению количества конфликтных ситуаций между пешеходами и автомобилями, тем самым снижая уровень дорожного травматизма.

Современные специалисты и ученые в области транспорта, указывают на то, что для снижения вероятности дорожно-транспортных происшествий необходим грамотный подход к организации движения в местах перехода пешеходами проезжей части [11-14]. Иными словами, правильный выбор типа пешеходного перехода, а также схемы организации движения минимизирует количество конфликтных ситуаций, которые могут привести к негативным последствиям.

Стоит отметить, что практическое использование действующих формул для расчет светофорных объектов выявила ряд проблем и неточностей, в том числе в части пешеходного движения. Действующая редакция «Правил дорожного движения», позволяет пешеходам переходить проезжую часть не только по кратчайшей траектории, но и по диагонали. Кроме того, современные схемы организации пофазного разъезда позволяют использовать различные технологии управления движением. Например, в начале фазы поворотные транспортные направления осуществляют движение в конфликте с пешеходами, а в конце фазы, без конфликта с пешеходным движением.

Достаточно долгий промежуток времени, формулы и методы, используемые для расчета светофорных объектов, содержались только в учебник для высших учебных заведений.

На сегодняшний момент данные формулы внесены в ОДМ 218.6.003-2011 [15] и ОДМ 218.2.020-2012 [16]. В данных нормативных документах представлена полная методика расчета объектов светофорного регулирования с учетом интенсивности движения транспорта и пешеходов. Пошаговая схема расчета светофорных объектов включает в себя выбор схемы пофазного разъезда, определение значения потоков насыщения расчет фазовых коэффициентов для всех направлений движения, определение длительности циклов, а затем и тактов светофорного регулирования. Ниже представлены формулы на основе которых производится полный расчет основных параметров светофорного регулирования.

1. Формула для определения значений фазовых коэффициентов:

$$y_{ij} = N_{ij} / M_{Hij} , \quad (1)$$

где  $y_{ij}$  - фазовый коэффициент  $i$ -го направления движения транспорта;

$N_{ij}$  - интенсивность движения транспорта  $i$ -го направления движения транспорта, ед/ч;

$M_{Hij}$  - поток насыщения для  $i$ -го направления движения транспорта, ед/ч.

2. Формула для расчета длительности цикла светофорного регулирования:

$$T = \frac{1,5 * T_{\Pi} + 5}{1 - (y_1 + y_2 + \dots + y_n)} , \quad (2)$$

где  $T$  – значение времени цикла светофорного регулирования, с;

$T_{\Pi}$  – суммарное значение величины промежуточных тактов всех фаз в цикле регулирования, с;

$y_1, y_2, y_n$  - максимальные значения фазовых коэффициентов для 1, 2, ...  $n$  фазы светофорного регулирования.

3. Формула для расчета длительности разрешающих сигналов  $i$ -й светофорного регулирования:

$$t_{0i} = \frac{(T - T_{\Pi}) y_i}{Y} , \quad (3)$$

где  $T$  – значение времени цикла светофорного регулирования, с;

$T_{\Pi}$  – суммарное значение величины промежуточных тактов всех фаз в цикле регулирования, с;

$Y$  – суммарное значение фазовых коэффициентов всех фаз светофорного регулирования.

В процессе расчета основных параметров светофорного регулирования, необходимо получить данные о времени цикла светофорного регулирования, а также значения времени разрешающих и переходных тактов. После определения длительности разрешающих тактов по формуле (3), необходимо провести соответствующую проверку их соответствия на предмет пропуска пешеходов и трамвайных вагонов. Для этого необходимо провести расчеты времени, необходимого для перехода проезжей части пешеходами, а также времени необходимого трамваям для преодоления перекрестка. Рассмотрим более детально процесс расчета времени необходимого пешеходам для преодоления проезжей части.

$$t_{\text{пш}} = \frac{B_{\text{пш}}}{V_{\text{пш}}} + 5 , \quad (4)$$

где  $t_{\text{пш}}$  – минимальное время необходимое пешеходам для безопасного преодоления проезжей части в месте пешеходного перехода, сек;

$B_{\text{пш}}$  - ширина пешеходного перехода, м;

$V_{\text{пш}}$  - скорость движения пешеходов на пешеходном переходе (в расчетах принимается в размере 1,3), м/с.

Если время разрешающего сигнала для какой-либо фазы, рассчитанной по формуле (3), меньше времени необходимого для преодоления проезжей части пешеходами (формула 4), то по действующему руководству, необходимо провести перерасчеты. Подобные проблемы обычно возникают на перекрестках с большой шириной проезжей части, при низкой ин-

тенсивности движения транспорта. В этом случае, в результате расчетов получают короткие сигналы.

В отечественной литературе используется два способа перерасчета тактов и циклов светофорного регулирования на по условиям безопасного движения пешеходов [17].

Способ 1. Значения фазовых коэффициентов, полученных в результате расчета тактов и циклов светофорного регулирования, остаются неизменными. При этом значения основных тактов регулирования, увеличиваются пропорционально значениям этих фазовых коэффициентов.

Способ 2. В расчетную формулу необходимую для определения цикла светофорного регулирования, вводятся новые значения фазовых коэффициентов, для тех фаз регулирования, основные такты которых необходимо уточнить по условиям пешеходного или трамвайного движения.

Способ номер один, можно назвать более простым с точки зрения расчета. Однако его применение приводит к значительному увеличению длительности цикла регулирования, а отсюда большим задержкам транспорта на всех направлениях. Учитывая выше сказанное, для перерасчета цикла и тактов светофорного регулирования используется второй способ. Данный способ использует для расчетов следующие формулы:

$$T^* = \frac{A}{2B} + \sqrt{\frac{A^2}{4B^2} - \frac{(T_n + \sum t_k^*)(1,5 * T_n + 5)}{B}}, \quad (5)$$

Для расчета значений условно введенных коэффициентов А и В, используются следующие формулы:

$$A = 2,5 T_n - T_n^* \sum y_i + \sum t_k^* + 5 ; \quad (6)$$

$$B = 1 - \sum y_i . \quad (7)$$

где  $T^*$  - новое значение длительности цикла светофорного регулирования, полученное в результате перерасчета, с;

$\sum y_i$  – суммарное значение фазовых коэффициентов для  $i$ -ой фазы движения, по которой не проводились процедуры уточнения длительности по условиям трамвайного и пешеходного движения;

$\sum t_k^*$  - суммарная длительность разрешающих тактов  $k$ , полученных в результате уточнения времени по условиям трамвайного и пешеходного движению, с;

$T_n$  - суммарная протяженность времени промежуточных тактов всех фаз светофорного регулирования в цикле, с.

После получения нового, скорректированного цикла светофорного регулирования, проводятся расчеты основных тактов по следующим выражениям:

$$t_i^* = y_i K^* T^* , \quad (8)$$

$$K^* = \frac{T^* - T_n}{T^* - 1,5 * T_n - 5} , \quad (9)$$

Вместе с этим необходимо отметить, что выражения 5-9, в практике организации дорожного движения и расчетов дают некорректные результаты. Кроме того, вышеуказанные формулы нельзя применять в том случае, если необходим перерасчет разрешающих тактов в двух разных фазах.

### **Теория / Расчет**

Для устранения недостатков в существующей методике расчета параметров светофорного регулирования, авторы статьи предложили несколько иной подход. Рассмотрим его суть более детально.

В результате проведенных расчетов, основных параметров светофорного регулирования были получены значения времени разрешающих и промежуточных тактов всех фаз регу-

лирования. При этом результаты проверки по условиям безопасного движения показали, что пешеходы не успевают преодолеть проезжую часть во второй фазе регулирования. То есть время размещающего такта второй фазы, меньше времени необходимо для преодоления проезжей части пешеходами что  $t_{зел2} < t_{ну2}$ .

В предложенной авторами методике, предлагается принять время разрешающего такта второй фазы в размере, которое необходимо пешеходам для преодоления проезжей части. Иными словами, принимаем  $t_{зел2}^* = t_{ну2}$ .

После этого проводим процедуру перерасчета цикла светофорного регулирования под новые значения основных и промежуточных тактов. Исключение в данном расчете касается только фазы номер два, длительность которой мы приняли заранее.

Вначале рассчитываем новое значение суммы всех промежуточных тактов. Для этого вводим формулу дополнительный параметр равный  $t_{зел2}^* = t_{ну2}$ . Таким образом, формула обретает следующий вид:

$$T_{II}^* = t_{п1} + t_{п2} + t_{п3} + t_{пш2}, \quad (10)$$

где  $T_{II}^*$  – новая (пересчитанная) сумма всех промежуточных тактов, с;

$t_{п1}, t_{п2}, t_{п3}$  – расчетное время промежуточных тактов,

Расчет времени промежуточных тактов, необходимых для завершения маневров транспортными средствами предыдущей фазы, рассчитывается по следующей формуле:

$$t_{пi} = \frac{v_a}{7,2a_T} + \frac{3,6(l_i + l_a)}{v_a}, \quad (11)$$

где  $v_a$  – средняя скорость движения транспортных средств на подходах к перекрестку и при преодолении его без торможения (с ходу), км/ч;

$a_T$  – среднее значение показателя замедления транспортного средства при торможении на запрещающий сигнал светофора (в инженерных расчетах принимается в размере 3-4 м/с<sup>2</sup>);

$l_i$  – расстояние от стоп-линий перекрестка до наиболее дальней конфликтной точки, м;

$l_a$  – длина транспортного средства, наиболее часто встречающегося в потоке, м.

Затем проводим расчет нового значения суммарного фазового коэффициента. Так как у нас трех фазное регулирование, в значение время разрешающего сигнала второй фазы мы уже приняли, то в расчет нового фазового коэффициента, мы исключаем фазовый коэффициент второй фазы:

$$Y^* = y_1 + y_3, \quad (12)$$

где  $Y^*$  – новое значение суммарного фазового коэффициента;

$y_1, y_3$  – фазовые коэффициенты полученные в результате расчета для первой и третьей фазы светофорного регулирования.

После получения новых значений суммы промежуточных тактов  $T_{II}^*$  и новой суммарного значения фазового коэффициента  $Y^*$ , в соответствии с формулами (2) и (3), проводим расчеты новых значений цикла светофорного регулирования  $T$  и длительности разрешающих сигналов  $t_{oi}$ . При этом расчет времени разрешающего сигнала для второй фазы движения мы не проводим. Он уже нами принят ранее.

Для понимания последовательности операций, проводимых при расчете тактов и циклов светофорного регулирования, авторами разработана блок-схема, представленная на рисунке 1.

Необходимо отметить, что на основе данного предложения можно модифицировать формулу (2). При расчете тактов и циклов светофорного объекта, пешеходного перехода расположенного на перегоне, обычно используется две фазы. При этом первая фаза регулирует движение автомобилей, а вторая разрешает движение пешеходам.

То есть формула (2) обретает следующий вид:

$$T = \frac{1,5(t_{п1} + t_{п2} + t_{пш}) + 5}{1 - y_1}, \quad (13)$$

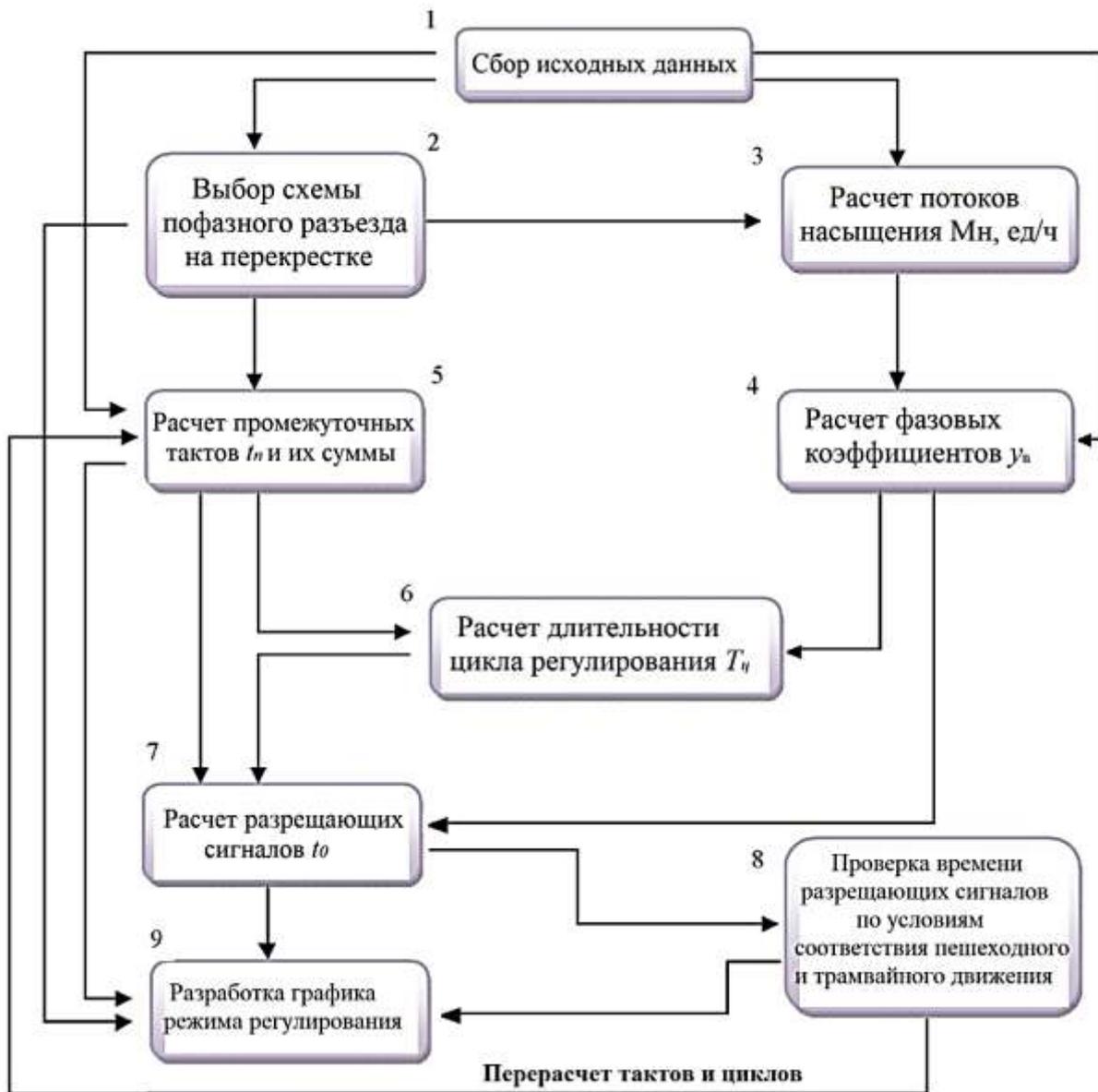


Рисунок 1 – Предлагаемая последовательность расчета тактов и циклов светофорного регулирования с учетом проверки размещающих сигналов по условиям пешеходного движения

Необходимо добавить, что подобные вопросы с необходимостью перерасчетов тактов и циклов светофорного регулирования, возникают и у зарубежных коллег в области организации дорожного движения. Однако у каждой отдельной страны может быть принята отдельная методика, со своим подходом к условиям перерасчета. Так в Канадском руководстве [18], производится перерасчет потоков насыщения в зависимости от времени разрешающего такта. Американское [19] и Немецкое [20] руководства, в целом несколько иначе подходят к вопросу расчета светофорных объектов, в том числе фаз для пешеходного движения.

### **Результаты и обсуждение**

В данной работе предложена новая усовершенствованная методика расчета тактов и циклов светофорного регулирования. Использование данной методики позволит более точно и быстро проводить перерасчеты тактов и циклов светофорного регулирования, на объектах где размеры проезжей части не позволяют пешеходам преодолеть проезжую часть за время горения зеленого сигнала. Результаты исследований, полученные авторами в данной статье необходимы для проведения более точных расчетов основных параметров светофорного регулирования, а особенно эффективны на светофорных объектах с полностью пешеходными фазами.

### **Выводы**

Дальнейшее развитие методики расчета светофорных объектов, требует уточнения времени разрешающего сигнала с точки зрения скорости движения пешеходов. Существующая методика применяет в своих расчетах постоянную скорость движения пешеходов при переходе проезжей части. Однако большая группа пешеходов передвигается со скоростью гораздо ниже, чем принято в методике. К ним необходимо отнести пожилых людей, детей, инвалидов, женщин с детьми, людей с тяжелыми сумками. Методика расчета светофорных объектов должна учитывать данную специфику для минимизации задержек транспорта на других направлениях и повышения безопасности движения.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Цариков А.А. Проблемы дорожно-транспортного травматизма в крупнейших городах Свердловской области // Организация и безопасность дорожного движения: Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием. - Тюмень: ТИУ, 2021. - С. 146-151.
2. Цариков А.А., Харьков А.В., Плотникова О.В. Тяжесть последствий различных видов дорожно-транспортных происшествий на примере городов Свердловской области // Научные чтения памяти профессора М.П. Даниловского: Материалы Восемнадцатой Национальной научно-практической конференции. - В 2т. - Тихоокеан. гос. ун-т. - 2018 - 2т. - Т1. - С. 379-382.
3. Минасян Н.Х. Обеспечение безопасности пешеходных путей // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». - №3. – 2020. - С. 284-288.
4. Yang J. Review of injury biomechanics in car-pedestrian collisions. Report to European Passive Safety Network, 2002.
5. Буга П.Г. Пешеходное движение в городах. - М., Строиздат, 1979. – 127 с.
6. Буга П.Г., Шелков Ю.Д. Организация пешеходного движения в городах: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. школа, 1980. – 232 с.
7. Енина Е.И. Определение параметров пешеходных путей с учетом потребностей различных групп населения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - №5. – 2016. - С. 102-104.
8. Галышев А.Б. Оценка качества условий движения пешеходов по тротуарам // International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies. - Vol. 11. - №3. – 2021. – С. 83-88. - DOI: 10.12731/2227-930X-2021-11-3-83-88.
9. Лептюхова О.Ю. Оценка пешеходных коммуникаций – условие повышения их качества // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – Вып. 1. – 2014. - С. 1-12.
10. Поздняков М.Н. Совершенствование методики оценки условий движения пешеходов // Инженерный вестник Дона. - №4. – Ч. 1. – 2012. - С. 1-3.
11. Врубель Ю.А., Капский Д.В. Опасности в дорожном движении. - Минск: Новое знание, 2013. - 244 с.
12. Капский Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.
13. Шец С.П., Справцева Е.В., Кешенкова В.Г., Ковалёва О.В. Выбор типа пешеходного перехода на перекрестке с применением имитационного моделирования // Вестник Брянского государственного технического университета. - №7(80). – 2019. - С. 52-58. - DOI:10.30987/article\_5d2d92323407a5.61399351.
14. Загутин Д.С., Скудина А.А., Бахтеев О.А., Миронов С.А. Исследование параметров установки транспортных и пешеходных светофоров // Инженерный вестник Дона. - №1. - 2019. - С. 1-6.
15. ОДМ 218.6.003-2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. – 69 с.
16. ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2012. – 148 с.
17. Кременец Ю.А., Печерский М.П. Технические средства регулирования дорожного движения: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с.
18. Second Edition of the Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections / S. Teply, D. Allingham, D. Richardson, V. Stephenson. - Institute of Transportation Engineers, District 7, Canada, 1995. – 115 p.
19. Highway Capacity Manual // TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.
20. Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS 2001). – Forshungsgesellschaft fuer Strassen und Verkehrswesen, Koeln, Januar 2002.

#### **Неволин Дмитрий Германов**

Уральский государственный университет путей сообщения  
Адрес: 620034, Россия, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66  
Д.т.н., профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»  
E-mail: innotrans@mail.ru

#### **Цариков Алексей Алексеевич**

Уральский государственный университет путей сообщения  
Адрес: 620034, Россия, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66  
К.т.н., доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»  
E-mail: Zarikof@mail.ru

## IMPROVING THE METHODOLOGY OF DESIGNING TRAFFIC LIGHT OBJECTS TAKING INTO ACCOUNT THE ORGANIZATION OF PEDESTRIAN TRAFFIC

**Abstract.** *The article deals with problematic issues in the existing methodology for calculating traffic light objects from the point of view of pedestrian traffic organization. New formulas have been developed that make it possible to recalculate phase coefficients more accurately for objects where pedestrians do not have time to overcome the roadway during the permitting cycle. A new algorithm for calculating the cycles and cycles of traffic light regulation is proposed, taking into account the recalculation of phases sufficient in duration for pedestrians to pass through the carriageway.*

**Keywords:** *traffic management, traffic light regulation, pedestrian traffic*

### BIBLIOGRAPHY

1. Tsarikov A.A. Problemy dorozhno-transportnogo travmatizma v krupneyshikh gorodakh Sverdlovskoy oblasti // Organizatsiya i bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya: Materialy XIV Natsional`noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. - Tyumen`: TIU, 2021. - S. 146-151.
2. Tsarikov A.A., Har`kov A.V., Plotnikova O.V. Tyazhest` posledstviy razlichnykh vidov dorozhno-transportnykh proisshestviy na primere gorodov Sverdlovskoy oblasti // Nauchnye chteniya pamyati professora M.P. Danilovskogo: Materialy Vosemnadtsatoy Natsional`noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - V 2t. - Tikhooke. gos. un-t. - 2018 - 2t. - T1. - S. 379-382.
3. Minasyan N.H. Obespechenie bezopasnosti peshekhodnykh putey // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy «Integral». - №3. - 2020. - S. 284-288.
4. Yang J. Review of injury biomechanics in car-pedestrian collisions. Report to European Passive Safety Network, 2002.
5. Buga P.G. Peshekhodnoe dvizhenie v gorodakh. - M., Stroizdat, 1979. - 127 s.
6. Buga P.G., Shelkov Yu.D. Organizatsiya peshekhodnogo dvizheniya v gorodakh: Ucheb. posobie dlya vuzov. - M.: Vyssh. shkola, 1980. - 232 s.
7. Enina E.I. Opredelenie parametrov peshekhodnykh putey s uchetom potrebnostey razlichnykh grupp naseleniya // Intellect. Innovatsii. Investitsii. - №5. - 2016. - S. 102-104.
8. Galyshev A.B. Otsenka kachestva usloviy dvizheniya peshekhodov po trotuaram // International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies. - Vol. 11. - №3. - 2021. - S. 83-88. - DOI: 10.12731/2227-930X-2021-11-3-83-88.
9. Leptyukhova O.Yu. Otsenka peshekhodnykh kommunikatsiy - uslovie povysheniya ikh kachestva // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE». - Vyp. 1. - 2014. - S. 1-12.
10. Pozdnyakov M.N. Sovershenstvovanie metodiki otsenki usloviy dvizheniya peshekhodov // Inzhenernyy vestnik Dona. - №4. - CH. 1. - 2012. - S. 1-3.
11. Vrubeľ Yu.A., Kapskiy D.V. Opasnosti v dorozhnom dvizhenii. - Minsk: Novoe znanie, 2013. - 244 s.
12. Kapskiy D.V. Prognozirovanie avariynosti v dorozhnom dvizhenii. - Minsk: BNTU, 2008. - 243 s.
13. Shets S.P., Spravtseva E.V., Keshenkova V.G., Kovaliova O.V. Vybór tipa peshekhodnogo perekhoda na perekrestke s primeneniem imitatsionnogo modelirovaniya // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - №7(80). - 2019. - S. 52-58. - DOI:10.30987/article\_5d2d92323407a5.61399351.
14. Zagutin D.S., Skudina A.A., Bakhteev O.A., Mironov S.A. Issledovanie parametrov ustanovki transportnykh i peshekhodnykh svetoforov // Inzhenernyy vestnik Dona. - №1. - 2019. - S. 1-6.
15. ODM 218.6.003-2011. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu svetofornykh ob"ektov na avtomobil`nykh dorogakh. - M.: Federal`noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor), 2013. - 69 s.
16. ODM 218.2.020-2012 Metodicheskie rekomendatsii po otsenke propusknoy sposobnosti avtomobil`nykh dorog. - M.: Federal`noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor), 2012. - 148 s.
17. Kremenets Yu.A., Pecherskiy M.P. Tekhnicheskie sredstva regulirovaniya dorozhnogo dvizheniya: Ucheb. dlya vuzov. - M.: Transport, 1981. - 252 s.
18. Second Edition of the Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections / S. Teply, D. Allingham, D. Richardson, B. Stephenson. - Institute of Transportation Engineers, District 7, Canada, 1995. - 115 p.
19. Highway Capacity Manual // TRB, Washington, DC, 2000. - 1134 p.
20. Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS 2001). Forschungsgesellschaft fuer Strassen und Verkehrswesen, Koeln, Januar 2002.

**Nevolin Dmitry Germanov**  
Ural State University of Railway Transport  
Adress: 620034, Russian, Ekaterinburg  
Doctor of technical sciences  
E-mail: innotrans@mail.ru

**Tsarikov Aleksey Alekseevich,**  
Ural State University of Railway Transport  
Adress: 620034, Russian, Ekaterinburg  
Candidate of technical sciences  
E-mail: Zarikof@mail.ru

Научная статья

УДК 656.01

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-109-115

А.Н. НОВИКОВ, И.С. МИТРЯЕВ

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПУТЕМ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОРГАНОВ ПУБЛИЧНОЙ ВЛАСТИ С УЧАСТНИКАМИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И ИНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

***Аннотация.** В работе рассмотрены инструменты коммуникации, позволяющие гражданам оказывать влияние на решение вопросов организации дорожного движения и представлена математическая модель, которая позволит определить степень вовлечения граждан в организацию дорожного движения на обеспечение безопасности всех участников дорожного движения. Также, проведен анализ возможности использования этой информации для улучшения организации дорожного движения путем информатизации взаимодействия органов публичной власти с участниками дорожного движения и другими заинтересованными сторонами.*

***Ключевые слова:** организация дорожного движения, правила дорожного движения, информатизация, гражданское общество, общественный контроль, безопасность дорожного движения*

### **Введение**

Организация дорожного движения является важным аспектом жизни любого мегаполиса, города и небольшого населенного пункта, который влияет на комфорт и безопасность жилой среды. Однако не всегда органы публичной власти могут оценить все аспекты ситуации, что может привести к принятию неэффективных управленческих решений по организации дорожного движения и соответственно снижению уровня удовлетворенности граждан. Создание эффективной схемы организации дорожного движения невозможно без участия общественности, которая должна иметь возможность высказывать свои предложения и замечания. В этом контексте, важную роль играет предусмотренное Конституцией Российской Федерации право граждан на участие в осуществлении общественного контроля как лично, так и в составе общественных объединений. Кроме того, основным законом страны предусматривается возможность обращаться лично, а также направлять индивидуальные и коллективные обращения в государственные органы, органы местного самоуправления и иные организации, на которые возложено осуществление публично значимых функций, и их должностным лицам.

Согласно паспорта федерального проекта «Безопасность дорожного движения» рисками реализации является недооценка роли институтов гражданского общества в формировании законопослушного поведения участников дорожного движения, а также разрыв между темпами автомобилизации и темпами развития улично-дорожной сети [1, 2]. Использование современных информационных технологий позволяет минимизировать влияние факторов риска реализации федерального проекта и решить многие проблемы, связанные с организацией дорожного движения, такие как оптимизация дорожного движения, повышение безопасности на дорогах, улучшение качества обслуживания на дорогах, повышение эффективности использования транспортных средств и ресурсов, формирование комфортной городской среды [3-6].

В Российской Федерации существуют проблемы, связанные с неэффективным управлением дорожным движением, недостаточным контролем со стороны органов публичной власти, а также низкой степенью вовлеченности участников дорожного движения в процесс управления дорожным движением. В связи с этим, целью информатизации взаимодействия органов публичной власти с участниками дорожного движения и иными организациями в

Российской Федерации является создание эффективной системы управления дорожным движением, повышение безопасности на дорогах, снижение уровня аварийности и улучшение качества обслуживания.

В современном мире существует широкий спектр информационных систем, разработанных для управления дорожным движением в различных странах, и некоторые из них уже успешно реализованы в России. Эти системы предлагают несколько значимых преимуществ, включая повышение уровня безопасности на дорогах и оптимизацию использования дорожной инфраструктуры. Они также способствуют сокращению дорожной аварийности и повышению качества транспортных услуг.

Тем не менее, стоит отметить, что такие системы не лишены некоторых недостатков. Например, возможность наличия ошибок в процессе сбора и обработки данных может привести к принятию неправильных решений и созданию опасных ситуаций на дороге. Кроме того, стоимость разработки и внедрения подобных систем достаточно велика и требует соответствующего финансирования [7-9].

Таким образом, хотя информационные системы для управления дорожным движением представляют значительные преимущества в области безопасности и эффективности дорожной инфраструктуры, необходимо тщательно учитывать потенциальные ошибки и затраты, связанные с их внедрением.

В России информатизация взаимодействия органов публичной власти с участниками дорожного движения и другими организациями является одним из приоритетных направлений развития системы дорожного движения. В рамках этого направления разработаны и внедрены различные информационные системы, направленные на оптимизацию управления дорожным движением и повышение безопасности на дорогах [10-12].

Напрашивается закономерный вывод о том, что вопрос организации дорожного движения во многом является одним из самых актуальных в регионах, где граждане каждый день сталкиваются со сложностями на дорогах, не только в крупных городах, но и в небольших населенных пунктах. В свою очередь, общественные советы и организации могут играть важную роль в фильтрации и отборе популярных и действительно необходимых изменений в схему организации дорожного движения. Однако, в век информационных технологий, активного использования социальных сетей, форумов и иных видов коммуникации, в которых граждане сообщают об инцидентах, оставляют обратную связь об изменениях в организации дорожного движения и могут внести свои предложения, добавляет сложности в организацию работы органов местного самоуправления. В связи с этим, возникает необходимость в использовании новых инструментов и методов информатизации для более качественного и своевременного взаимодействия органов публичной власти с участниками дорожного движения и иными организациями.

Однако, как и в других странах, проблемой является разобщенность различных информационных систем, что затрудняет взаимодействие органов публичной власти и снижает эффективность управления дорожным движением.

Решением этой проблемы может стать создание единой информационной системы, объединяющей различные модули управления дорожным движением и обеспечивающей максимально полное и оперативное взаимодействие всех участников процесса. Для эффективного осуществления общественного контроля в сфере дорожного движения такая система может включать в себя следующие функциональные модули:

1. Модуль обучения водителей и пешеходов. Данный модуль позволяет гражданам проходить курсы обучения правилам дорожного движения, а также получать информацию о последних изменениях в законодательстве в области дорожного движения. Это помогает увеличить безопасность на дорогах, уменьшить количество ДТП и повысить культуру участников дорожного движения, путем реализации онлайн-тестирования, квестов и иных интерактивных форм обучения, наиболее эффективных и доступных для различных возрастных групп [13, 14]. Преимущества использования данного модуля включают:

- легкий доступ к обучению и информации о законодательстве;

- улучшение знаний участников дорожного движения, что уменьшает количество нарушений и ДТП;

- возможность снизить число неопытных и неподготовленных водителей на дорогах.

Недостатком может быть то, что не все граждане захотят проходить обучение или получать информацию о законодательстве, что ограничивает эффективность данного модуля.

2. Модуль отслеживания нарушений на дорогах. Этот модуль позволяет гражданам сообщать о нарушениях правил дорожного движения, которые они наблюдают на дорогах. Это может быть нарушение скоростного режима, проезд на красный свет, пересечение двойной сплошной линии и другие нарушения. Преимущества использования данного модуля включают:

- возможность быстрого сообщения об нарушениях правил дорожного движения;

- увеличение эффективности контроля со стороны граждан, что может привести к снижению количества нарушений на дорогах;

- повышение ответственности участников дорожного движения.

Недостатком данного модуля может быть невозможность проверки достоверности сообщений об нарушениях, что может привести к неправомерным штрафам.

3. Модуль организации дорожного движения. Позволяет гражданам и общественным объединениям получать информацию о планируемых изменениях в организации дорожного движения, об установке новых дорожных знаков, ограничений скорости, изменении конфигурации светофорных объектов и т.д. Этот модуль также может предоставлять информацию о планируемых ремонтных работах, изменениях в общественном транспорте и других событиях, которые могут повлиять на дорожное движение.

Преимуществом этого модуля является возможность получения своевременной и точной информации об изменениях в организации дорожного движения, что позволяет избежать пробок и оптимизировать маршрут движения. Также этот модуль позволяет гражданам участвовать в планировании изменений в организации дорожного движения, высказывать свои предложения и замечания на основе онлайн опросов населения [15, 16].

Кроме того, в модуле предусмотрены инструменты пропаганды безопасности дорожного движения для целенаправленной деятельности, осуществляемой органами исполнительной власти по распространению знаний, касающихся вопросов обеспечения безопасности дорожного движения, разъяснению законодательных и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, регламентирующих поведение участников дорожного движения [17-19].

Недостатком данного модуля может быть невозможность оперативной корректировки информации, особенно в случаях экстренных ситуаций на дороге, а также недоступность информации для людей без доступа к интернету или мобильным устройствам.

4. Модуль мониторинга состояния дорог. Позволяет гражданам и общественным объединениям получать информацию о состоянии дорог, об опасных участках дороги, дефектах, повреждениях дорожного покрытия и других проблемах, которые могут повлиять на безопасность дорожного движения [20].

Преимуществом этого модуля является возможность оперативной реакции на опасные ситуации на дороге, а также участие граждан в процессе улучшения состояния дорожного покрытия.

Недостатком данного модуля может быть невозможность получения полной и точной информации о состоянии дорог, особенно в местах, где нет доступа к интернету или мобильной связи. Также возможны случаи избыточности сообщений об опасных участках дороги, которые могут привести к увеличению нагрузки на органы государственной власти.

Для определения степени вовлечения граждан в организацию дорожного движения на обеспечение безопасности всех участников дорожного движения, будет использоваться линейная регрессионная модель. Формула модели выглядит следующим образом:

$$S = S0 + k1 * A + k2 * D + k3 * E + k4 * O + k5 * C + k6 * F + \epsilon,$$

где  $S$  - общий уровень безопасности дорожного движения в данном регионе;

*S*0 - коэффициент, отражающий базовый уровень безопасности без участия граждан;

*A* - количество сообщений о нарушениях правил дорожного движения;

*D* - участие граждан в процессе принятия решений;

*E* - количество граждан, прошедших дополнительное обучение теории и тренировки навыков вождения;

*O* - активность граждан в общественных организациях по охране дорожного движения;

*C* - развитие культуры безопасности на дороге;

*F* - осведомленность граждан о работе автоматизированных комплексов фотовидеосъемки;

*k*1, *k*2, *k*3, *k*4, *k*5, *k*6 - коэффициенты пропорциональности, которые определяют вклад каждого из факторов в общий уровень дорожной безопасности позволяют оценить, насколько велика зависимость между ними;

$\epsilon$  - ошибка модели.

Коэффициенты регрессии могут быть определены с помощью метода наименьших квадратов, который позволяет найти наилучшую линейную связь между зависимой переменной и объясняющими переменными. Кроме того, модель должна быть протестирована на выборке данных для проверки ее точности и эффективности.

Каждый из факторов, включенных в модель, имеет свою значимость для определения степени вовлечения граждан в организацию дорожного движения на обеспечение безопасности всех участников дорожного движения.

Количество сообщений об авариях и нарушениях правил дорожного движения может быть показателем уровня безопасности на дороге, поскольку это помогает органам власти оценить ситуацию на дорогах и принимать меры для предотвращения дальнейших аварий и нарушений.

Участие граждан в процессе принятия решений может привести к использованию более эффективных мер по улучшению безопасности дорожного движения, поскольку граждане, которые участвуют в общественных слушаниях и конференциях, имеют возможность высказать свои предложения и замечания, которые могут быть учтены при принятии решений по организации дорожного движения и формировании политики безопасности.

Количество граждан, имеющих водительские права, соответственно знания правил и навыки вождения, может влиять на общий уровень безопасности на дорогах, поскольку чем больше людей имеют требуемый уровень знаний и навыков вождения, тем выше вероятность снижения количества нарушений и аварий.

Количество участников в деятельности общественных организаций по охране дорожного движения помогает повысить уровень осведомленности населения о проблемах безопасности на дорогах и принять меры для улучшения ситуации.

Количество участников дорожного движения с высоким уровнем культуры может влиять на общий уровень безопасности на дорогах, поскольку люди с высоким уровнем культуры безопасности будут более ответственными и внимательными на дороге, тем самым способствуя соблюдению правил дорожного движения других участников и предотвращению аварий и нарушений. Измерение показателя уровня культуры участников дорожного движения может быть сложной задачей, поскольку культура в целом является более широким и комплексным понятием, чем просто поведение на дороге. Однако существуют несколько подходов, которые могут помочь в оценке данного показателя:

- статистические данные: Анализ статистических данных, таких как количество дорожно-транспортных происшествий, нарушений правил дорожного движения и штрафных санкций, может дать представление о ситуации на дорогах и уровне соблюдения правил участниками дорожного движения. Эти данные могут служить показателем культуры дорожного движения.

- обзоры и исследования: Проведение обзоров и исследований, включающих опросы и интервью участников дорожного движения, может помочь выявить их отношение к прави-

лам и нормам поведения на дороге, а также к их пониманию важности безопасности и уважения к другим участникам.

- наблюдение и оценка: Наблюдение за поведением участников дорожного движения на различных участках дороги может дать представление о их культуре и соблюдении правил. Это может включать оценку соблюдения скоростного режима, злоупотребление в использовании нештрафуемого порога скорости, правил обгона, использования поворотных сигналов и других важных аспектов безопасного движения.

Осведомленность граждан о работе автоматизированных комплексов фотовидеосъемки и других средств и мероприятий контроля за соблюдением правил дорожного движения может увеличить соблюдение правил и повысить уровень безопасности на дорогах, поскольку люди, осведомленные о работе таких средств, будут более склонны соблюдать правила, чтобы избежать штрафов и наказаний.

Комбинируемый учет этих факторов позволяет разработать более эффективные стратегии для повышения безопасности дорожного движения и обеспечения благоприятных условий для всех участников дорожного движения. Все показатели, включенные в нашу математическую модель, являются важными аспектами, несомненно влияющими на безопасность дорожного движения. Наличие активных общественных организаций, занимающихся вопросами безопасности на дорогах, а также высокий уровень культуры безопасности у участников дорожного движения существенно влияют на безопасность дорожного движения.

Однако, следует отметить, что наша модель не является исчерпывающей и многие другие факторы также могут влиять на безопасность дорожного движения, такие как качество дорог и транспортных средств, уровень технического обслуживания транспортных средств и дорог, метеорологические условия, и т.д. Поэтому, описываемая зависимость представляет собой только частный случай и требует дальнейшего исследования и уточнения. Например, в будущем можно расширить модель, включив в нее дополнительные факторы, и провести дополнительные эксперименты для проверки корректности модели и ее применимости в других регионах и странах.

В заключение, следует отметить, что представленная модель представляет собой важный шаг в направлении повышения безопасности дорожного движения и развития информационных технологий для взаимодействия органов публичной власти с участниками дорожного движения и другими организациями. Информатизация взаимодействия органов публичной власти с участниками дорожного движения и другими организациями является необходимым и перспективным направлением развития системы дорожного движения в России. Несмотря на некоторые технические и организационные сложности, информационные системы позволяют повысить эффективность управления дорожным движением и обеспечить безопасность на дорогах. Кроме того, разработка и внедрение единой информационной системы может стать одним из решений проблемы разобщенности и обеспечить более эффективное взаимодействие всех участников процесса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А.Н., Еремин С.В., Ломакин Д.О. Оценка уровня безопасности дорожного движения на региональном уровне // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2020. – №3(70). – С. 72-79.
2. Зейналов Ф.Н. Об основных положениях национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» // *Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова*. – 2020. – №2(83). – С. 168-173.
3. Бычкова А.С., Стычук А.А., Лунев Р.А. и др. Технология формирования комфортной городской среды // *Модернизация регионов: управленческие механизмы и инновационные подходы: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции*. - Чебоксары: Издательско-полиграфическая компания «Новое время». - 2018. – С. 49-54.
4. Афанасов А.Л., Валухов В.А., Гладков К.А. и др. Анализ технологий приема заявок от населения при решении проблем управления городским хозяйством // *Информационные системы и технологии*. – 2018. – №2(106). – С. 36-41.
5. Константинов И.С., Лунев Р.А., Нечаева А.Б. Аспекты применения геосоциальных сетей для формирования благоприятной городской среды // *Университетская наука*. – 2018. – №2(6). – С. 132-136.

6. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения / А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – 108 с.
7. Матросова Л.Д. Совершенствование методов получения и обработки информации для поддержки принятия управленческих решений в деятельности правоохранительных органов // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. – 2018. – №4(77). – С. 152-154.
8. Жбанова С.А. Поиск и внедрение инновационных решений в сфере дорожной безопасности // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. – 2020. – №4(85). – С. 116-120.
9. Семенов Е.Ю. Основные проблемы внедрения автоматизированных информационных систем в деятельность органов внутренних дел // Научный портал МВД России. – 2022. – №1(57). – С. 36-40.
10. Матросова Л.Д. О совершенствовании информационного обеспечения подразделений ГИБДД по вопросам оперативного сбора сведений о дорожно-транспортных происшествиях // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. – 2019. – №2(79). – С. 143-146.
11. Семенов Е.Ю., Кобзина П.В. Возможности использования открытых данных в деятельности ГИБДД // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. – 2018. – №1(74). – С. 125-127.
12. Кондрашова Е.А., Фатьянов С.О., Морозов А.С. Перспективные решения по повышению интенсивности дорожного движения // Прогрессивные технологии и процессы: Сборник научных статей 9-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2022. – С. 98-101.
13. Зейналов Ф.Н. Об обязательном тестировании водителей при замене водительского удостоверения по истечении 10 лет с его получения // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. – 2023. – №1(94). – С. 67-75.
14. Минаева Е.М., Кулев А.В. Онлайн-оценка знаний ПДД как элемент пропаганды безопасности дорожного движения // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: сборник статей международной научно-практической конференции. – Липецк: Липецкий государственный технический университет. - 2022. – С. 83-87.
15. Новиков А.Н., Кулев А.В., Осляков С.Ю. Совершенствование пассажирских перевозок общественным транспортом на основе онлайн опросов населения // Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей 7-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2020. – С. 114-117.
16. Кулев М.В., Кулева Н.С., Кулев А.В., Горенкова С.Е. Разработка методики получения информации об эффективности транспортного обслуживания населения / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции. – Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. - 2020. – С. 80-87.
17. Новгородов Д.А. Использование сотрудниками ГИБДД сети интернет в пропаганде безопасности дорожного движения // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования. – 2020. – №1(3). – С. 325-329.
18. Дайнеко Д. Г., Гольчевский В.Ф. Современные реалии профилактической работы по недопущению детского травматизма на дорогах // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования. – 2021. – №1(4). – С. 138-143.
19. Жбанова С.А. Профилактика как фактор стабильности и правопорядка на дорогах // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. – 2020. – №3(84). – С. 132-136.
20. Захаров Д.А., Захарова И.Г. Разработка системы мониторинга состояния покрытия проезжей части // Математическое и информационное моделирование. – 2022. – С. 214-221.

**Новиков Александр Николаевич**

Орловский государственный университет  
им. И.С. Тургенева.  
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, Комсомольская улица, 95  
Д.т.н., профессор, директор ПТИ им. Н.Н.Поликарпова,  
зав.кафедрой сервиса и ремонта машин  
E-mail: novikovan@ostu.ru

**Митряев Иван Сергеевич**

ОрЮИ МВД России имени В.В. Лукьянова  
Адрес: 302027, Россия, г Орёл, ул. Игнатова, 2  
Старший преподаватель кафедры ИТ в Д ОВД  
E-mail: ismitryaev@gmail.com

---

A.N. NOVIKOV, I.S. MITRYAEV

**IMPROVING ROAD TRAFFIC ORGANIZATION THROUGH THE  
INFORMATIZATION OF PUBLIC AUTHORITIES' INTERACTION WITH  
ROAD USERS AND OTHER ORGANIZATIONS**

***Abstract:** This paper examines communication tools that enable citizens to influence decision-making regarding road traffic organization. It presents a mathematical model that allows determining the level of citizen involvement in road traffic organization to ensure the safety of all participants. Additionally, an analysis is conducted on the potential use of this information to enhance road traffic organization through the informatization of public authorities' interaction with road users and other stakeholders.*

**Keywords:** road traffic organization, traffic rules, informatization, civil society, public scrutiny, road traffic safety

## BIBLIOGRAPHY

1. Novikov A.N., Eremin S.V., Lomakin D.O. Otsenka urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na regional'nom urovne // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2020. - №3(70). - S. 72-79.
2. Zeynalov F.N. Ob osnovnykh polozheniyakh natsional'nogo proekta «Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi» // *Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova*. - 2020. - №2(83). - S. 168-173.
3. Bychkova A.S., Stychuk A.A., Lunev R.A. i dr. Tekhnologiya formirovaniya komfortnoy gorodskoy sredy // *Modernizatsiya regionov: upravlencheskie mekhanizmy i innovatsionnye podkhody: Materialy IX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. - Cheboksary: Izdatel'sko poligraficheskaya kompaniya «Novoe vremya». - 2018. - S. 49-54.
4. Afanasov A.L., Valukhov V.A., Gladkov K.A. i dr. Analiz tekhnologiy priema zayavok ot naseleniya pri reshenii problem upravleniya gorodskim khozyaystvom // *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*. - 2018. - №2(106). - S. 36-41.
5. Konstantinov I.S., Lunev R.A., Nechaeva A.B. Aspekty primeneniya geosotsial'nykh setey dlya formirovaniya blagopriyatnoy gorodskoy sredy // *Universitetskaya nauka*. - 2018. - №2(6). - S. 132-136.
6. *Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya* / A.N. Novikov, I.A. Novikov, A.G. Shevtsova. - Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova, 2021. - 108 s.
7. Matrosova L.D. Sovershenstvovanie metodov polucheniya i obrabotki informatsii dlya podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy v deyatel'nosti pravookhranitel'nykh organov // *Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova*. - 2018. - №4(77). - S. 152-154.
8. Zhbanova S.A. Poisk i vnedrenie innovatsionnykh resheniy v sfere dorozhnoy bezopasnosti // *Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova*. - 2020. - №4(85). - S. 116-120.
9. Semenov E.Yu. Osnovnye problemy vnedreniya avtomatizirovannykh informatsionnykh sistem v deyatel'nost' organov vnutrennikh del // *Nauchnyy portal MVD Rossii*. - 2022. - №1(57). - S. 36-40.
10. Matrosova L.D. O sovershenstvovanii informatsionnogo obespecheniya podrazdeleniy GIBDD po voprosam operativnogo sbora svedeniy o dorozhno-transportnykh proisshestviyakh // *Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova*. - 2019. - №2(79). - S. 143-146.
11. Semenov E.Yu., Kobzina P.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya otkrytykh dannykh v deyatel'nosti GIBDD // *Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova*. - 2018. - №1(74). - S. 125-127.
12. Kondrashova E.A., Fat'yanov S.O., Morozov A.S. Perspektivnye resheniya po povysheniyu intensivnosti dorozhnogo dvizheniya // *Progressivnye tekhnologii i protsessy: Sbornik nauchnykh statey 9-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. - Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2022. - S. 98-101.
13. Zeynalov F.N. Ob obyazatel'nom testirovanii voditeley pri zamene voditel'skogo udostovereniya po istechenii 10 let s ego polucheniya // *Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova*. - 2023. - №1(94). - S. 67-75.
14. Minaeva E.M., Kulev A.V. Onlayn-otsenka znaniy PDD kak element propagandy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // *Infokommunikatsionnye i intellektual'nye tekhnologii na transporte: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. - Lipetsk: Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. - 2022. - S. 83-87.
15. Novikov A.N., Kulev A.V., Oslyakov S.Yu. Sovershenstvovanie passazhirskikh perevozok obshchestvennym transportom na osnove onlayn oprosov naseleniya // *Progressivnye tekhnologii i protsessy: sbornik nauchnykh statey 7-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. - Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2020. - S. 114-117.
16. Kulev M.V., Kuleva N.S., Kulev A.V., Gorenkova S.E. Razrabotka metodiki polucheniya informatsii ob effektivnosti transportnogo obsluzhivaniya naseleniya / Pod obshchey redaktsiyey A.N. Novikova // *Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. - Oriol: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgenyeva. - 2020. - S. 80-87.
17. Novgorodov D.A. Ispol'zovanie sotrudnikami GIBDD seti internet v propagande bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // *Upravlenie deyatel'nost'yu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyanie, problemy, puti sovershenstvovaniya*. - 2020. - №1(3). - S. 325-329.
18. Dayneko D. G., Gol'chevskiy V.F. Sovremennye realii profilakticheskoy raboty po nedopushcheniyu detskogo travmatizma na dorogakh // *Upravlenie deyatel'nost'yu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyanie, problemy, puti sovershenstvovaniya*. - 2021. - №1(4). - S. 138-143.
19. Zhbanova S.A. Profilaktika kak faktor stabil'nosti i pravoporyadka na dorogakh // *Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova*. - 2020. - №3(84). - S. 132-136.
20. Zakharov D.A., Zakharova I.G. Razrabotka sistemy monitoringa sostoyaniya pokrytiya proezzhey chasti // *Matematicheskoe i informatsionnoe modelirovanie*. - 2022. - S. 214-221.

**Novikov Alexander Nikolayevich**

Orel State University

Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77

Doctor of technical sciences

E-mail: novikovan@ostu.ru

**Mitryaev Ivan Sergeevich**

Orel Law Institute of the Ministry of the

Interior of the Russian Federation

Address: 302027, Russia, Orel, Ignatova str., 2

Senior Lecturer

Email: ismitryaev@gmail.com

Научная статья  
УДК 629.018  
doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-116-122

Н.В. ЛОБОВ, О.С. ИВАНОВА, Д.А. ФАРХУЛЛИН

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ НА ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

***Аннотация.** Рассмотрена конструкция и принцип работы генератора водорода, определён КПД процесса. Исследован химический состав металлгидридной системы хранения водорода. Дано описание конструкции и принципа действия водородного топливного элемента. Приведены результаты экспериментального исследования модели транспортного средства на водородных топливных элементах с регистрацией электрических параметров.*

***Ключевые слова:** водород, водородный топливный элемент, протоннообменная мембрана, металлгидридный накопитель водорода, химический анализ, электромобиль*

### **Введение**

На смену двигателю внутреннего сгорания, как силовой установке автомобильного транспортного средства, приходят электрические двигатели. Количество зарегистрированных электромобилей непрерывно увеличивается не только на территории России, но и по всему миру [1]. Основной проблемой эксплуатации электромобилей является недостаточное распространение зарядных станций на территории РФ и ограниченный максимальный пробег автомобиля, не превышающий в среднем 500 км [2]. Решить данную проблему позволяет использование водорода и возможность преобразования его химической потенциальной энергии в электричество.

Электромобиль на водородном топливе является сложной технической системой, требующей ее изучения. Количество таких транспортных средств на территории РФ составляет единицы, преимущественно импортного производства (Toyota Mirai), поэтому для решения этой задачи была использована малогабаритная модель гоночного болида Туринг Tamiya TT-02 Туре-S 4WD KIT (без кузова) на водородных топливных элементах. Настоящая статья посвящена изучению конструкции данного автомобиля и особенностей его эксплуатации.

Поскольку эксплуатация автотранспортных средств на водороде не предполагает выброс в атмосферу отработавших газов, то на выбор способа получения водорода в большей степени влияет углеродный след производства  $H_2$ . Наименьшее удельное значение выделения  $CO_2$  приходится на ветровую, солнечную и гидроэнергетику [3]. Для получения водорода в нашем случае использовался «зеленый» способ его производства, а именно электролиз воды.

### **Материал и методы**

Установка, использованная в ходе эксперимента, для производства водорода, представлена на рисунке 1.

Генератор водорода имеет максимальную производительность до 300 миллилитров водорода в минуту при потребляемой мощности 150 Вт. Максимальное давление на выходе составляет 4 атм. (0,4 МПа). Принцип действия установки заключается в расщеплении воды на водород  $H_2$  и кислород  $O_2$ . Основным конструктивным элементом генератора является протоннообменная мембрана (PEM), собственно, на которой и происходит сепарация чистого водорода.

### **Теория / Расчет**

В ходе исследования был определен КПД генератора водорода, который оказался равным 33 %. Расчет производился по следующей формуле:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{48,6}{147} = 33\%, \quad (1)$$

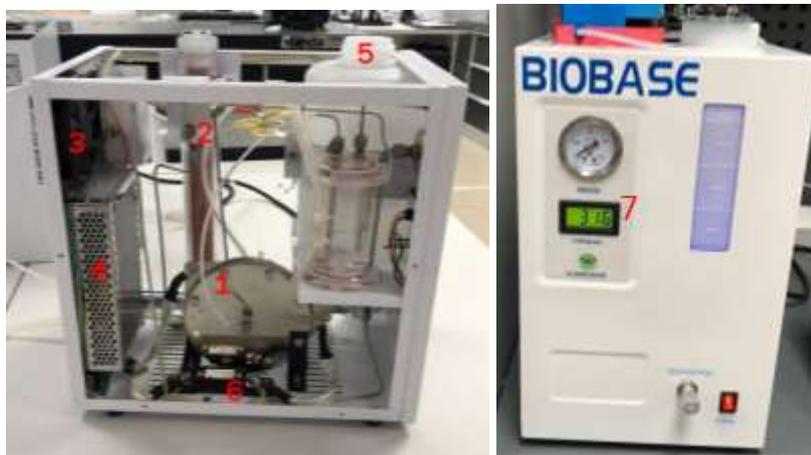
где  $P_2$  – выходная мощность, рассчитанная в водородном эквиваленте (2), (Вт);

$P_1$  – потребляемая установкой мощность от сети (Вт), зафиксированная в ходе эксперимента.

$$P_2 = Q \cdot E_m = 0,0162 \cdot 3,00 \cdot 1000 = 48,6 \text{ Вт}, \quad (2)$$

где  $Q$  – производительность установки), зафиксированная в ходе эксперимента (270 мл/мин = 0,0162 м<sup>3</sup>/ч);

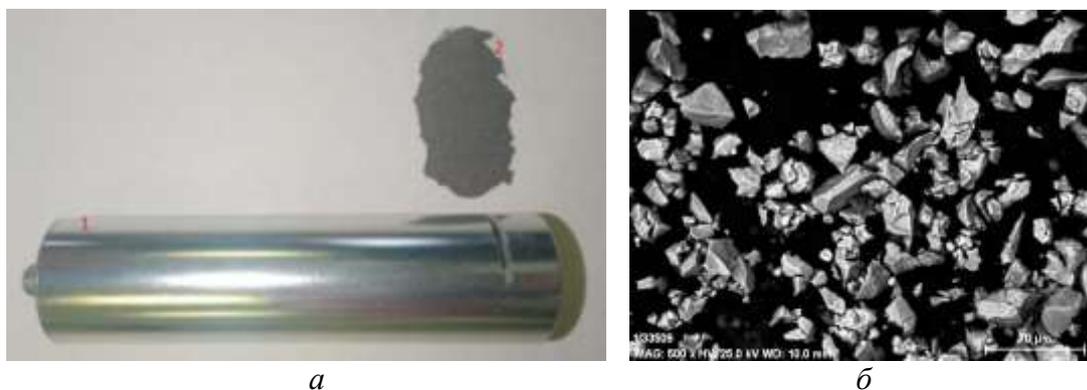
$E_m$  – удельная энергоемкость водорода, (3,00  $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{м}^3}$ ) [4], показывает объем энергии, полученный в результате электрохимического преобразования 1 м<sup>3</sup> водорода.



**Рисунок 1 – Генератор водорода SPE-300**

1 – электролизер, 2 – осушитель, 3 – вентилятор, 4 – регулируемый блок питания, 5 – резервуар для воды, 6 – токоизмерительный шунт, 7 – дисплей

Хранение водорода на борту модели гоночного болида осуществлялось с помощью накопителя Hydrostik PRO (рис. 2 а). Емкость накопителя водорода равна 10 нормальных литров (объем газа при нормальных условиях:  $p = 1 \text{ атм.}$ ,  $t = 20^\circ\text{C}$ ) при максимальном давлении 30 бар (3 МПа). Заполнение емкости для хранения водорода при соединении его с электролизером происходило в среднем за 17 минут. Полнота зарядки накопителя, оценивалась производительностью работы генератора водорода по дисплею 7. При повышении давления водорода внутри накопителя происходило естественное снижение производительности работы электролизера, вплоть до нуля.



**Рисунок 2 – Накопитель водорода Hydrostik PRO:**

а – структура и содержимое накопителя; б – микрофотография металлического порошка

С целью изучения устройства накопителя энергии Hydrostik PRO и принципа его действия в ходе исследования был осуществлен его распил, рисунок 2 а. На рисунке 2 б представлена микрофотография металлического порошка. В ходе исследования проведен химический анализ содержимого. Исследование проводилось на кафедре «Химические техноло-

гии» ПНИПУ. Химический анализ производился на сканирующем электронном микроскопе S-3400N (HITACHI), оснащённом энергодисперсионным спектрометром XFlash 4010 (BRUKER).

Химический анализ по точке содержимого накопителя Hydrostik PRO показал, что корпус баллона (1) выполнен из алюминия марки 6061, структура порошка (2) представлена в таблице 1. В данной таблице первый столбец содержит данные о химических элементах, составляющих основу металлического порошка накопителя, во втором столбце представлена атомная масса соответствующих элементов периодической таблицы, третий и четвертый столбцы содержат данные об атомном и массовом содержании веществ в сплаве, в пятом столбце отражена величина погрешности измерений массового содержания вещества.

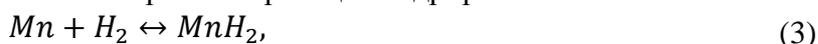
Таблица 1 – Химический анализ Hydrostik PRO

EL	AN	C norm. [wt. %]	C Atom. [at. %]	(1 Sigma) [wt. %]
1	2	3	4	5
Al	13	0.26	0.52	0.04
Ti	22	31.84	35.25	0.85
V	23	6.5	6.77	0.19
Cr	24	8.84	9.01	0.25
Mn	25	46.69	45.05	1.16
Zr	40	5.87	3.41	0.24

### *Результаты и обсуждение*

На основании результатов химического анализа (табл. 1) получен вывод, что марганец (Mn) является основанием химической реакции, лежащей в основе работы накопителя, поскольку преобладает его массовое содержание в сплаве. Титан (Ti) является добавкой, оказывающей положительное влияние, как катализатор, а также способен образовывать гидрид титана. При легировании сплава хромом (Cr) удастся повысить давление диссоциации сплава до величины, позволяющей практическое использование его в качестве аккумулятора водорода. Увеличение содержания ванадия (V) эффективно для повышения кинетики адсорбции водорода и ёмкости накопителя [7].

В основе работы накопителя лежит обратимая реакция гидрирования:



Анализ позволяет сделать вывод о том, что данная система хранения  $H_2$  является стабильной, многофазовой, безопасной и обладает большим запасом ёмкости для хранения водорода.

Принцип работы водородного топливного элемента (ВТЭ) иллюстрирует рисунок 3 [9]. ВТЭ состоит из катода и анода, которые обычно выполняют функции катализатора, протонопроводящей мембраны, расположенной между катодом и анодом. Водород поступает в ТЭ с левой стороны, а кислород – с правой. При этом потоки не перемешиваются. Попадая на протонообменную мембрану, представляющую собой твердый полимерный электролит, водород и кислород вступают в электрохимическую реакцию окисления водорода:



Поступившие в ВТЭ молекулы водорода разлагаются на катализаторе на положительные ионы  $H^+$ . После этого положительно заряженные протоны  $H^+$  проходят сквозь протонообменную мембрану на кислородо-содержащую сторону.

В свою очередь, катализатор с кислородо-содержащей стороны поляризует молекулы кислорода и готовит их к последующему принятию электронов. Отрицательно заряженные частицы кислорода соединяются с положительно заряженными частицами водорода. При этом образуются нетоксичные пары воды и разность потенциалов между катодом и анодом [8].

Модель гоночного болида на водородных топливных элементах (ВТЭ) является радиоуправляемой моделью электромобиля с размещённой на ней водородной энергоустановкой. На рисунке 4 изображена исследуемая модель транспортного средства (ТС).

На борту модели АТС водород хранится в водородном картридже (1). Водородный картридж был подключен к регулятору давления (2). Давление в трубопроводах после регулятора давления находилось в диапазоне 0,4–0,55 бар. Трубопроводы направляли водород к блоку водородных топливных элементов (3). Блок ВТЭ конвертировал химическую энергию водорода и кислорода в электрическую энергию.

Контроллер двигателя (4) необходим для питания и управления мощностью трёхфазного электродвигателя (5).

Запуск модели АТС осуществлялся после установки заправленного водородного картриджа и включения питания на контроллере двигателя.

Основной задачей вентилятора продувки являлось обеспечение воздухом (кислородом) электрохимической реакции, проходящей в ВТЭ и охлаждение нагретых частей системы. Постоянный ток от ВТЭ подавался на контроллер двигателя, где преобразовывался в трехфазный переменный ток для питания электродвигателя.

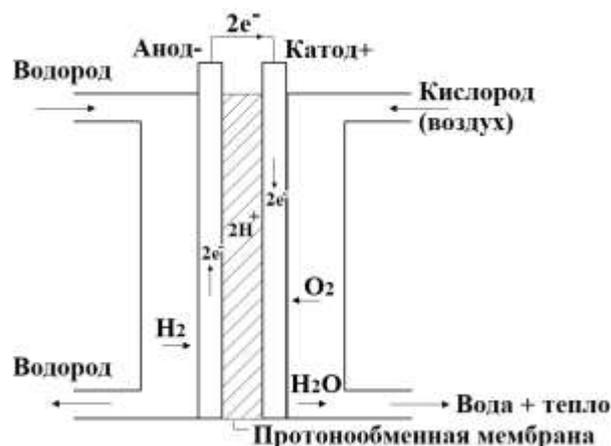


Рисунок 3 – Принцип работы протонообменной мембраны водородного топливного элемента

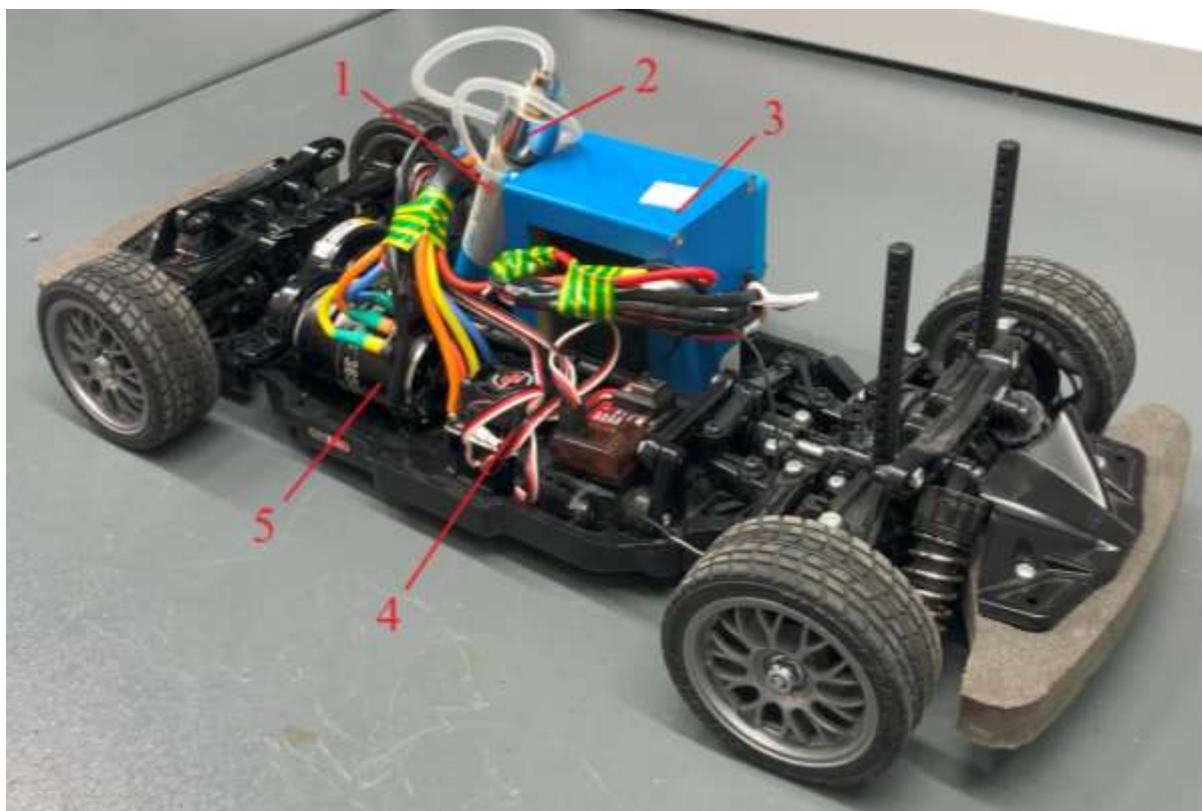
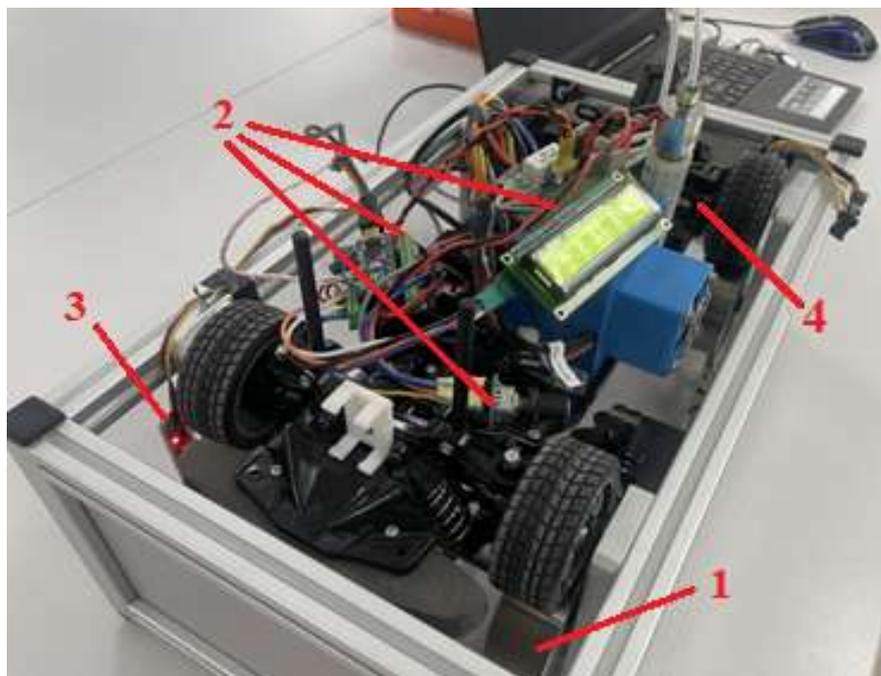


Рисунок 4 – Модель болида на ВТЭ: 1 – водородный картридж; 2 – регулятор давления; 3 – блок водородных топливных элементов; 4 – контроллер двигателя; 5 – электродвигатель

Вращательный момент от электродвигателя путём зубчатых и карданных передач передавался ко всем четырём колёсам.

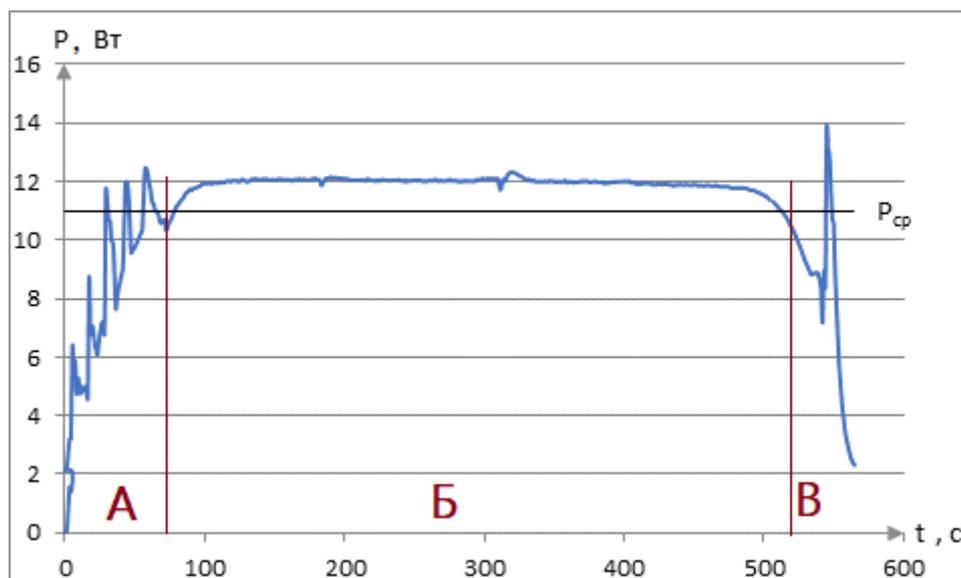
В ходе исследования проведен эксперимент по установлению длительности работы модели гоночного болида на ВТЭ на нагрузочном стенде. Экспериментальная установка представлена на рисунке 5.



*Рисунок 5 – Экспериментальная установка: 1 – стенд с беговыми барабанами, 2 – измерительное оборудование, 3 – оптический датчик, 4 – модель гоночного болида на ВТЭ*

Модель гоночного болида на ВТЭ устанавливалась на стенд, оборудованный беговыми барабанами с инерционными грузами и системами контроля вольт-амперных характеристик и количества оборотов.

На рисунке 6 представлен график зависимости мощности ВТЭ от времени работы модели гоночного болида на ВТЭ. Экспериментальным путем установлено, что время работы составило 9 минут, а среднее значение выходной электрической мощности равно 11 Вт.



*Рисунок 6 – Зависимость полезной электрической мощности от времени*

На рисунке 6 выделены три интервала времени работы: А – выход на стабильный режим работы (1,5 минуты), Б – стабильный режим работы, где мощность не опускается ниже необходимого минимального уровня 10,5 Вт [5, 6], В – режим спада стабильной работы, где наблюдается снижение мощности ниже 10,5 Вт.

#### **Выводы**

В ходе исследования получены следующие результаты и выводы:

1) произведено комплексное экспериментальное исследование транспортного средства с силовой энергетической установкой на водородных топливных элементах, включаю-

щее в себя способ получения водорода на борту автомобиля и преобразования его в электроэнергию;

2) в ходе эксперимента установлены временные интервалы: А – выхода ВТЭ на рабочий режим, Б – стабильной работы, В – завершения стабильной работы;

3) дальнейшее исследование будет направлено на импортозамещение зарубежных аналогов, улучшение эксплуатационных характеристик имеющихся элементов и создание силовой установки, работающей на новых принципах преобразования водорода в качестве альтернативного источника топлива на автомобильном транспорте.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юсупова О.А. Текущее состояние и тренды рынка электромобилей в России и мире // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. - 2021. - №6. - С. 131-143.
2. Tarek Selmi, Ahmed Khadhraoui, Adnen Cherif. Fuel cell-based electric vehicles technologies and challenges // Environmental Science and Pollution Research. - 2022. - P. 11.
3. ГОСТ Р 56276–2014 / ISO/TS 14067:2013. Газы парниковые. Углеродный след продукции.
4. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справ. изд. / Д.Ю. Гамбург, В.П. Семенов, Н.Ф. Дубовкин, Л.Н. Смирнова. – М.: Химия, 1989. – 672 с.
5. Об электроэнергетике: Федеральный закон, 2003.
6. О совершенствовании требований к обеспечению надежности и безопасности электроэнергетических систем и объектов электроэнергетики и внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ: Постановление Правительства РФ, 2017.
7. Карпов Д.А., Литуновский В.Н. Водородная энергетика: хранение водорода в связанном состоянии // СПб.: АО «НИИЭФА». - 2016. - 94 с.
8. Кривобоков В.П., Сочугов Н.С., Соловьев А.А. Электрохимия топливных элементов: Учебное пособие. – Томск: Томского политехнического университета, 2008. – 155 с.
9. Трофимов Е.С. Топливные элементы прямого действия на автомобильном транспорте // М.: Транспортное дело России. - 2022. - №6(163). - С. 154-156.
10. Цариков А.А. Проблемы дорожно-транспортного травматизма в крупнейших городах Свердловской области // Организация и безопасность дорожного движения: Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием. - Тюмень: ТИУ. - 2021. - С. 146-151.
11. Буга П.Г. Пешеходное движение в городах. - М., Строиздат, 1979. – 127 с.
12. Енина Е.И. Определение параметров пешеходных путей с учетом потребностей различных групп населения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - №5. – 2016. - С. 102-104.
13. Лептюхова О.Ю. Оценка пешеходных коммуникаций – условие повышения их качества // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – Вып. 1. – 2014. - С. 1-12.
14. Врубель Ю.А., Капский Д.В. Опасности в дорожном движении. - Минск: Новое знание, 2013. - 244 с.
15. Капский Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.
16. Загутин Д.С., Скудина А.А., Бахтеев О.А., Миронов С.А. Исследование параметров установки транспортных и пешеходных светофоров // Инженерный вестник Дона. - №1. - 2019. - С. 1-6.
17. Семенов Е.Ю., Кобзина П.В. Возможности использования открытых данных в деятельности ГИБДД // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. – 2018. – №1(74). – С. 125-127.
18. Зейналов Ф.Н. Об обязательном тестировании водителей при замене водительского удостоверения по истечении 10 лет с его получения // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. – 2023. – №1(94). – С. 67-75.
19. Новгородов Д.А. Использование сотрудниками ГИБДД сети интернет в пропаганде безопасности дорожного движения // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования. – 2020. – №1(3). – С. 325-329.
20. Жбанова С.А. Профилактика как фактор стабильности и правопорядка на дорогах // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. – 2020. – №3(84). – С. 132-136.

### **Лобов Николай Владимирович**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 618900, Россия, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, 29  
Д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Автомобили и технологические машины»  
E-mail: lobov@pstu.ru

### **Иванова Ольга Сергеевна**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 618900, Россия, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, 29  
Аспирантка, ведущий инженер кафедры «Автомобили и технологические машины»  
E-mail: ov4549725@gmail.com

### **Фархуллин Данил Альфирович**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 618900, Россия, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, 29  
Магистрант, E-mail: danil.farkhullin@yandex.ru

N.V. LOBOV, O.S. IVANOVA, D.A. FARKHULLIN

## EXPERIMENTAL STUDY OF VEHICLE MODEL WITH POWER PLANT ON HYDROGEN FUEL CELLS

**Abstract.** The design and principle of operation of the hydrogen generator are considered, the process efficiency is determined. The chemical composition of the metal hydride hydrogen storage system was investigated. Description of the design and operating principle of the hydrogen fuel cell is given. The results of an experimental study of a hydrogen fuel cell vehicle model with registration of electrical parameters are given.

**Keywords:** hydrogen, hydrogen fuel cell, proton-exchange membrane, hydrogen metal hydride storage, chemical analysis, electric vehicle

### BIBLIOGRAPHY

1. Yusupova O.A. Tekushchee sostoyanie i trendy rynka elektromobiley v Rossii i mire // ETAP: ekonomicheskaya teoriya, analiz, praktika. - 2021. - №6. - S. 131-143.
2. Tarek Selmi, Ahmed Khadhraoui, Adnen Cherif. Fuel cell-based electric vehicles technologies and challenges // Environmental Science and Pollution Research. - 2022. - P. 11.
3. GOST R 56276-2014 / ISO/TS 14067:2013. Gazy parnikovye. Uglerodnyy sled produktsii.
4. Vodorod. Svoystva, polucheniye, khraneniye, transportirovaniye, primeneniye: Sprav. izd. / D.Yu. Gamburg, V.P. Semenov, N.F. Dubovkin, L.N. Smirnova. - M.: Himiya, 1989. - 672 s.
5. Ob elektroenergetike: Federal'nyy zakon, 2003.
6. O sovershenstvovanii trebovaniy k obespecheniyu nadezhnosti i bezopasnosti elektroenergeticheskikh sistem i ob'ektov elektroenergetiki i vnesenii izmeneniy v nekotorye akty Pravitel'stva RF: Postanovleniye Pravitel'stva RF, 2017.
7. Karpov D.A., Litunovskiy V.N. Vodorodnaya energetika: khraneniye vodoroda v svyazannom sostoyanii // SPb.: AO «NIIIEFA». - 2016. - 94 s.
8. Krivobokov V.P., Sochugov N.S., Solov'ev A.A. Elektrokimiya toplivnykh elementov: Uchebnoye posobie. - Tomsk: Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2008. - 155 s.
9. Trofimov E.S. Toplivnye elementy pryamogo deystviya na avtomobil'nom transporte // M.: Transportnoye delo Rossii. - 2022. - №6(163). - S. 154-156.
10. Tsarikov A.A. Problemy dorozhno-transportnogo travmatizma v krupneyshikh gorodakh Sverdlovskoy oblasti // Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: Materialy XIV Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. - Tyumen': TIU. - 2021. - S. 146-151.
11. Buga P.G. Peshekhodnoye dvizheniye v gorodakh. - M., Stroizdat, 1979. - 127 s.
12. Enina E.I. Opredeleniye parametrov peshekhodnykh putey s uchetom potrebnostey razlichnykh grupp naseleniya // Intellect. Innovatsii. Investitsii. - №5. - 2016. - S. 102-104.
13. Leptyukhova O.Yu. Otsenka peshekhodnykh kommunikatsiy - usloviye povysheniya ikh kachestva // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE». - Vyp. 1. - 2014. - S. 1-12.
14. Vrubel' Yu.A., Kapskiy D.V. Opasnosti v dorozhnom dvizhenii. - Minsk: Novoe znanie, 2013. - 244 s.
15. Kapskiy D.V. Prognozirovaniye avariynosti v dorozhnom dvizhenii. - Minsk: BNTU, 2008. - 243 s.
16. Zagutin D.S., Skudina A.A., Bakhteev O.A., Mironov S.A. Issledovaniye parametrov ustanovki transportnykh i peshekhodnykh svetoforov // Inzhenernyy vestnik Dona. - №1. - 2019. - S. 1-6.
17. Semenov E.Yu., Kobzina P.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya otkrytykh dannykh v deyatel'nosti GIBDD // Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova. - 2018. - №1(74). - S. 125-127.
18. Zeynalov F.N. Ob obyazatel'nom testirovanii voditeley pri zamene voditel'skogo udostovereniya po istechenii 10 let s ego polucheniya // Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova. - 2023. - №1(94). - S. 67-75.
19. Novgorodov D.A. Ispol'zovaniye sotrudnikami GIBDD seti internet v propagande bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Upravleniye deyatel'nost'yu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyaniye, problemy, puti sovershenstvovaniya. - 2020. - №1(3). - S. 325-329.
20. Zhanova S.A. Profilaktika kak faktor stabil'nosti i pravoporyadka na dorogakh // Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova. - 2020. - №3(84). - S. 132-136.

#### Lobov Nikolay Vladimirovich

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 618900, Russia, Perm, Komsomolsky Prospekt  
Doctor of technical sciences  
E-mail: lobov@pstu.ru

#### Farkhullin Danil Alfirovich

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 618900, Russia, Perm, Komsomolsky Prospekt  
Undergraduate  
E-mail: danil.farkhullin@yandex.ru

#### Ivanova Olga Sergeevna

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 618900, Russia, Perm, Komsomolsky Prospekt  
Postgraduate student  
E-mail: ov4549725@gmail.com

Научная статья

УДК 656.13.02-027.43

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-123-130

Н.С. ЗАХАРОВ, Е.С. КОЗИН

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЗОНЫ АВТОСЕРВИСА**

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы контроля работы зоны по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей на станции технического обслуживания с применением информационных технологий. Производственные помещения многих станций оборудованы камерами видеонаблюдения, которые могли бы быть использованы для мониторинга работы сервисной зоны, в частности для определения степени загрузки поста, его состояния в конкретный момент времени, факта нахождения на посту механика и автомобиля, а также определения маршрутов движения производственного персонала. Полученная информация может быть интегрирована в базу данных предприятия и использована для принятия управленческих решений и формирования статистики работы зоны. Реализация системы возможна с использованием предварительно обученной сверточной нейронной сети ResNet50, которая используется для детектирования объектов «автомобиль» и «человек». Разработанная модель может являться частью системы поддержки принятия управленческих решений или цифрового двойника автотранспортного предприятия.*

***Ключевые слова:** станция технического обслуживания, нейронная сеть, система поддержки принятия решений, контроль, обслуживание и ремонт автомобилей, загрузка поста*

### **Введение**

В текущий момент автотранспортные организации собирают различные аналитические данные, которые в дальнейшем могут применяться для более эффективного принятия управленческих решений [10, 14, 16]. Оптимальная эксплуатация производственной базы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей является одним из факторов эффективной организации деятельности предприятия [1, 3, 7, 9]. Отслеживание состояния производственной зоны в настоящем времени может производиться визуальными методами, с применением телематических систем или по фактическим данным выполнения запланированных работ [2, 4, 5]. Тем не менее, получение данных о работе поста в реальном времени в цифровом виде является самым эффективным методом, позволяющим использовать информацию для оперативно-го управления производством, а также прогнозирования будущих параметров системы.

Целью настоящего исследования является определение продолжительности нахождения производственного персонала и транспортного средства на посту по обслуживанию и ремонту автомобилей и расчет на этой основе аналитических показателей работы поста.

Для решения поставленной цели предлагается использовать метод нейронных сетей для детектирования объектов в сервисной зоне [6, 8, 11]. Реализация возможна при помощи установки нескольких камер видеонаблюдения и сервера для обработки видеопотока, на котором установлена модель детектирования объектов [17-20]. Таким образом, цель исследования может быть достигнута при решении следующих задач:

- 1) выбор нейронной сети для детектирования автомобилей и механиков на посту;
- 2) определение геометрических размеров поста на территории ремонтной зоны;
- 3) применение нейронной сети для детектирования двух классов объектов: автомобиля и человека;
- 4) формирование аналитики по загрузке поста и работе механика на посту.

### **Материал и методы**

Для решения задач детектирования объектов на изображении был применен механизм

переноса обучения без разморозки слоев и дополнительного обучения модели, так как перечень классов и объектов, на которых обучена модель, удовлетворяет условиям настоящего исследования.

Для реализации задачи детектирования объектов на изображении использовалась сверточная нейронная сеть ResNet-50, которая обучена на детектирование объектов, принадлежащих к 91 классу датасета COCO [13, 15].

Для решения задачи был использован язык программирования Python, а также библиотеки для работы с данными numpy, библиотека для компьютерного зрения opencv, фреймворк реализации методов искусственных нейронных сетей pytorch. Модель создавалась посредством среды программирования Jupyter Notebook. Для создания окон и элементов пользовательского интерфейса были использованы шаблоны и классы библиотеки PyQt.

Видеокамера высокого разрешения может быть применена для решения задач компьютерного зрения. Она устанавливается в помещении автомобильного сервиса и предоставляет данные о рабочей зоне поста. Одна видеокамера позволяет охватить пространство нескольких постов, однако, необходимо, чтобы рабочая зона поста не перекрывалась посторонними объектами, например, подъемниками. Данные передаются с камеры на сервер, где работает модель компьютерного зрения, производится распознавание и обработка видеопотока. Затем полученная информация перенаправляется в базу данных, где происходит взаимодействие с приложением системы поддержки принятия решений.

Для эксперимента было использовано изображение с камеры видеонаблюдения в автосервисе, загруженное из интернета (рис. 1).



*Рисунок 1 - Исходное изображение для проведения эксперимента*

На изображении расположено несколько автомобилей, находящихся на территории сервисной зоны и человека, которого для условий эксперимента можно учитывать как механика сервисной зоны.

### ***Теория***

Изображение (видеокадр) помещается на вход загруженной в программу модели ResNet-50, затем производится визуализация результатов детектирования моделью объектов. Модель определяет класс объекта и координаты его ограничительной рамки (bounding box) – зеленого прямоугольника на изображении. Была произведена настройка вывода результатов для отображения объектов, относящихся к классам «человек» (person) и «легковой автомобиль» (car). Результаты детектирования указанных классов объектов моделью представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 - Результаты определения нейронной сетью объектов класса «человек» (person) и «легковой автомобиль» (car) на изображении

Модель корректно определила наличие трех автомобилей в ремонтной зоне, а также механика рядом с заездом в производственный корпус. Далее необходимо определить геометрические границы поста по обслуживанию и ремонту автомобилей. Модель будет определять факт нахождения автомобиля и человека в указанной зоне.

Для определения факта и степени нахождения механика в границах зоны поста может быть использована метрика «пересечение через объединение» (Intersection over Union - IoU) [12]. Эта метрика часто используется для определения степени точности модели компьютерного зрения и определяется как пересечение через объединение обнаруженного bounding box и верного (ground truth) bounding box. Метрика определяет количество корректно определенных объектов и количество ложных срабатываний. Показатель IoU оперирует следующими параметрами:

- 1) верные позитивные срабатывания - True Positives: количество обнаружений с  $\text{IoU} > 0,5$ ;
- 2) неверные позитивные срабатывания - False Positives: количество обнаружений с  $\text{IoU} \leq 0,5$  или обнаруженных более одного раза;
- 3) неверные негативные срабатывания False Negatives: количество объектов, которые не обнаружены или обнаружены с  $\text{IoU} \leq 0,5$ ;
- 4) верные негативные срабатывания - True Negatives: классификатор верно утверждает, что объект не принадлежит к рассматриваемому классу.

Метрика тем больше, чем больше определенные моделью границы объекта соответствуют действительным. В случае рассматриваемого примера метрика IoU применима, однако с небольшими корректировками: для условий задачи не важно полное соответствие двух bounding box, а важно, чтобы bounding box механика или автомобиля был частично или полностью вписан в геометрические границы зоны поста. Таким образом, следует определить значение метрики при полном вхождении одного bounding box в другой – это будет идеальным (нормативным) случаем, когда объект полностью находится в пределах указанной зоны. При частичном нахождении объекта в зоне значение IoU будет меньше нормативного, но отличным от нуля. В случае, когда объект отсутствует в рассматриваемой зоне, значение метрики будет равно нулю.

Поскольку камера в автосервисе закреплена неподвижно, то были программно определены координаты границ зоны поста (справа внизу в пределах синего прямоугольника, показанного на рисунке 3).



*Рисунок 3 - Определение границ зоны поста, показанных синим прямоугольником*

При работе с передней частью автомобиля и подкапотным пространством механик обязан находиться в пределах границ поста, это будет детектироваться при помощи программы. Для формирования условий эксперимента было сформировано шесть копий исходного изображения, в которых искусственно изменялось наличие автомобиля и механика в границах зоны поста. На первом изображении автомобиль находится на посту, механик – вне его границ; на втором – и автомобиль, и механик находятся на посту; на третьем – пост пустой; на четвертом – на посту только механик; на пятом – на посту и автомобиль, и механик; на шестом – автомобиль без механика. Ситуация соответствует той, когда один автомобиль был обслужен и покинул пост (третий и четвертый кадры), а потом на пост поставили следующий автомобиль (пятый и шестой кадры). В данных случаях механик производил работы возле автомобиля только на втором и пятом кадрах. Для простоты интерпретации результатов можно сделать предположение, что каждый кадр соответствует одной минуте съемки, то есть модель производила детекцию один раз в минуту. Каждое из указанных изображений было направлено в модель для получения прогноза относительно координат нахождения каждого их объектов, принадлежащих к классам «человек» и «автомобиль» в указанных границах поста. Перечень исходных изображений представлен на рисунке 4.



*Рисунок 4 - Перечень измененных копий исходного изображения, созданных для проведения эксперимента по динамическому определению параметров работы поста*



Программная реализация системы детектирования объектов, принадлежащих к классам «person» и «car», была разработана на языке программирования Python с использованием библиотек PyTorch, OpenCV, а также дополнительных фреймворков для обработки и визуализации информации. Программа работает с готовыми кадрами изображений, полученных из видеопотока с заданной пользователем периодичностью формирования кадров. Для детектирования объектов на изображениях использовалась обученная нейронная сеть ResNet50, модель которой была загружена с помощью torchvision. Алгоритм работы программы представлен на рисунке 5.

Рисунок 5 - Алгоритм работы модели детектирования объектов в сервисной зоне

### Результаты

Результаты детектирования объектов с помощью нейронной сети представлены на рисунке 6.

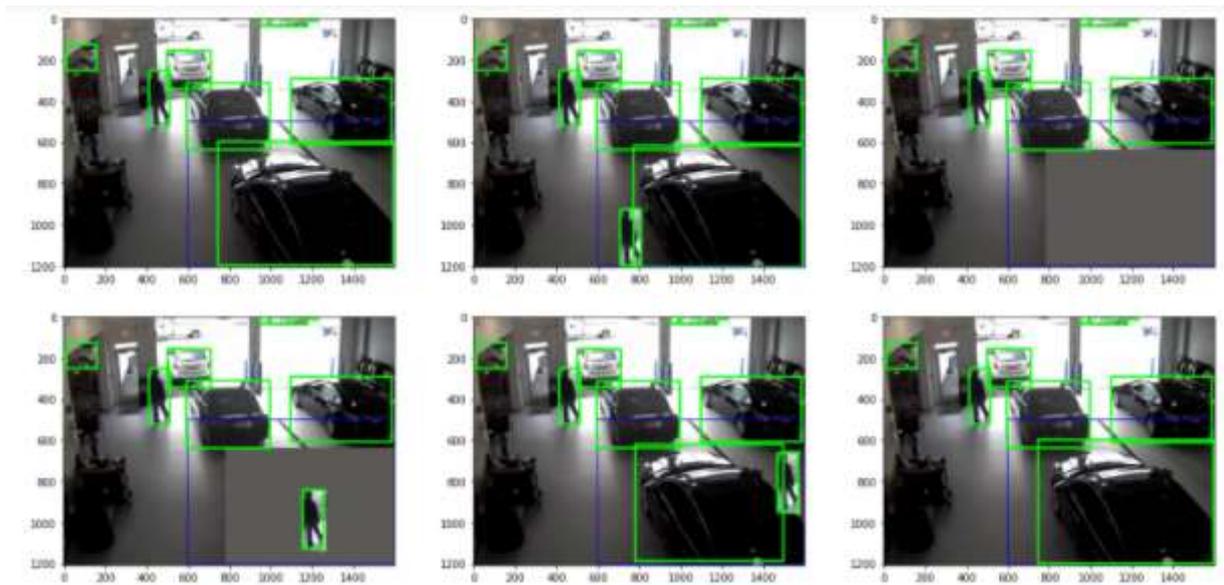


Рисунок 6 - Результаты детектирования объектов моделью на экспериментальных изображениях

Выполненный эксперимент позволяет сделать вывод, что модель правильно определяет наличие на изображении и в зоне границ поста всех рассматриваемых объектов: механика и автомобиля. Для каждого изображения была рассчитана метрика IoU нахождения объекта типа «person» и «car» в зоне границ поста. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты эксперимента по определению метрики IoU по детектированию нахождения механика и автомобиля на посту

Кадры	Автомобиль	Механик
1	0,04	0,00
2	0,039	0,038
3	0,00	0,00
4	0,00	0,040
5	0,039	0,039
6	0,04	0,00

ни нахождения механика на занятого автомобилем посту равен 50 %.

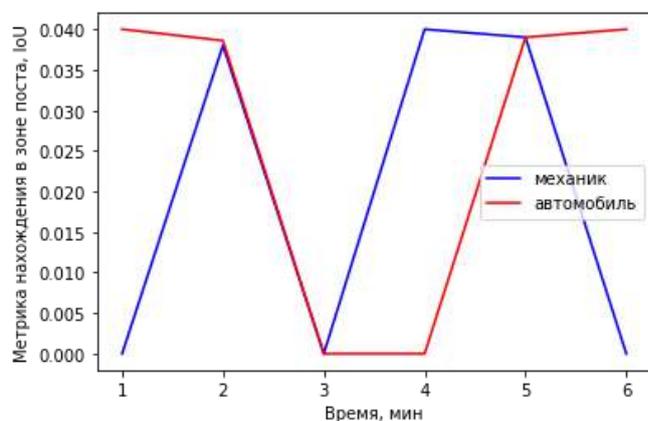


Рисунок 7 - Изменение метрики IoU по нахождению объектов в границах зоны поста во времени для механика (синий) и автомобиля (красный)

### Выводы

Разработанная модель может применяться руководством автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания автомобилей для принятия решений по повышению эффективности использования производственной зоны, а также по контролю работы производственного персонала.

Таким образом, в результате проведенного исследования были получены следующие результаты:

- 1) обосновано использование сверточных искусственных нейронных сетей для мониторинга производственной зоны станции технического обслуживания автомобилей;
- 2) разработан алгоритм реализации предобученной модели ResNet-50 для детектирования объектов на видеопотоке, относящихся к классам «автомобиль» и «человек»;
- 3) с использованием метрики «Пересечение через объединение» разработан способ определения механика и автомобиля в границах зоны поста, который позволяет оценить количество времени, проведенного указанными объектами в границах зоны. Полученная информация может быть использована для принятия управленческих решений;
- 4) определены предпосылки для использования разработанного подхода в качестве элемента повышения эффективности управления автотранспортным предприятием.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zakharov N.S. Basic Simulation Models of Car Failure Flows // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – №459(4). – P. 042084. - doi:10.1088/1755-1315/459/4/042084.
2. Bouvard K., Tedie H., Lesobre R. Joint dynamic scheduling of missions and vehicle: value of on-line information vehicle: value of on-line information // IFAC PapersOnLine. – 2018. – №51(24). – P. 837–842. - doi: 10.1016/j.ifacol.2018.09.672.

### Обсуждение

Значение показателя IoU при полном вхождении объекта в границы зоны поста равно 0,04, при частичном – от 0 до 0,04, а при полном отсутствии объекта в зоне – нулю. Пример графического отображения результатов мониторинга зоны поста представлен на рисунке 7.

Согласно данным приведенного графика, определяется следующее:

- на первой и шестой минуте при наличии на посту автомобиля механик отсутствовал.
- для указанного примера процент времени

Полученные данные возможно применять в рамках системы поддержки принятия решений по управлению автосервисом и производством по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей. Определение и анализ типовых маршрутов автомобилей и персонала по сервисной зоне является одним из вариантов развития функций системы. На этой основе возможно применять методы бережливого производства по оптимизации маршрутов, мест расположения технологического оборудования и производственных участков.

3. Dobromirov V., Verkhorubov V., Chernyaev I. Systematizing the factors that determine ways of developing the vehicle maintenance system and providing vehicle safety // *Transportation Research Procedia*. – 2018. – №36. – P. 114-121.
4. Jbili S., Chelbi A., Radhoui M., Kessentini M. Integrated strategy of vehicle routing and maintenance // *Reliability Engineering and System Safety*. – 2018. – №170. – P. 202–214. - doi: 10.1016/j.res.2017.09.030.
5. Kossiakoff A., Sweet W.M., Seymour S.J., Biemer S.M. *Systems engineering. Principles and practice*. 2nd ed. John Wiley and Sons. – 2014. – 213 p.
6. Liu G., Chen S., Jin H., Liu S. Optimum opportunistic maintenance schedule incorporating delay time theory with imperfect maintenance // *Reliability Engineering and System Safety*. – 2021. – №213. – P. 107668. - doi: 10.1016/j.res.2021.107668.
7. Lu C.C., Yan S., Li H.C., Diabat A., Wang H.T. Optimal fleet deployment for electric vehicle sharing systems with the consideration of demand uncertainty // *Computers & Operations Research*. – 2021. – №135. – P. 105437. - doi: 10.1016/j.cor.2021.105437.
8. Markudova D., Mishra S., Cagliero L., Vassio L. et al. Preventive maintenance for heterogeneous industrial vehicles with incomplete usage data // *Computers in Industry*. – 2021. – №130. – P. 103468. - doi: 10.1016/j.compind.2021.103468.
9. Militao A.M., Tirachini A. Optimal fleet size for a shared demand-responsive transport system with human-driven vs automated vehicles: a total cost minimization approach // *Transportation Research Part A*. – 2021. – №151. – P. 52–80. - doi: 10.1016/j.tra.2021.07.004.
10. Monteiro Tavares C.M., Szpytko J. Vehicles emerging technologies from maintenance perspective // *IFAC-PapersOnLine*. – 2016. – №49(28). – P. 067-072. - doi: 10.1016/j.ifacol.2016.11.012.
11. Parameshwaran R., Srinivasan P.S.S., Punniyamoorthy M., Charunyanath S.T, Ashwin C. Integrating fuzzy analytical hierarchy process and data envelopment analysis for performance management in automobile repair shops // *European journal of industrial engineering*. – 2009. – №3(4). – P. 450-467. - doi: 10.1504/EJIE.2009.027037.
12. Prytz R., Nowaczyk S., Rognvaldsson T., Bytner S. Predicting the need for vehicle compressor repairs using maintenance records and logged vehicle data // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2015. – P. 41: 139-150. - doi: 10.1016/j.engappai.2015.02.009.
13. Rokhforoz P., Fink O. Maintenance scheduling of manufacturing systems based on optimal price of the network // *Reliability Engineering and System Safety*. – 2022. – №217: 108088. - doi: 10.1016/j.res.2021.108088.
14. Semykina A., Zagorodnii N., Novikov I., Novikov A. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North // *Transportation Research Procedia*. – 2021. – №57. – P. 611-616.
15. Wang Y., Limmer S., Nguyen D.V., Olhofer M., Bäck T., Emmerich M. Optimizing the maintenance schedule for a vehicle fleet: a simulation based case study // *Engineering Optimization*. – 2021. – №53. - doi: 10.1080/0305215X.2021.1919888.
16. Козин Е.С. Система поддержки принятия решений по управлению станцией технического обслуживания автомобилей // *Транспорт Урала*. – 2022. – №3(74). – С. 73-77.
17. Косилов Р.А., Анопченко Н.В., Терешин Н.В., Богачев А.П. Видеоконтроль железнодорожного переезда из кабины локомотива // *Железнодорожный Транспорт*. – 2007. - №7. – С. 57-58.
18. Кузьменко О.Г., Линьков В.В. Решение задачи оценки состояния объектов средствами видеоконтроля и регистрации // *Известия Орловского Государственного Технического Университета. Серия: Информационные системы и технологии*. – 2006. - №1-1. – С. 117-119.
19. Кушнир Г.Ю., Минченко С.Н. Совершенствование методов контроля качества технического обслуживания и ремонта на предприятиях, обслуживающих транспортные средства различных марок // *Международный научный журнал*. – 2017. – №3. – С. 70-73.
20. Ларина Ю. Событийный Видеоконтроль // *Безопасность. Достоверность. Информация*. – 2009. - №83. – С. 20-40.

**Захаров Николай Степанович**

Тюменский индустриальный университет

Адрес: 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой сервиса автомобилей и технологических машин

E-mail: zakharovns@tyuiu.ru

**Козин Евгений Сергеевич**

Тюменский индустриальный университет

Адрес: 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

К.т.н., доцент, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин

E-mail: kozines@tyuiu.ru

---

N.S. ZAKHAROV, E.S. KOZIN

**ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR MONITORING THE OPERATION OF THE CAR SERVICE PRODUCTION ZONE**

*Abstract.* The article deals with the issues of monitoring the operation of the zone for the maintenance and repair of vehicles at a service station using information technology. The production facilities of many stations are equipped with video surveillance cameras that could be used to monitor the operation of the service area, in particular, to determine the degree of loading

*of the post, its condition at a particular point in time, the fact that a mechanic and a car are at the post, as well as determining the routes of movement of production personnel. The information obtained can be integrated into the enterprise database and used to make management decisions and generate zone operation statistics. The implementation of the system is possible using a pre-trained ResNet50 convolutional neural network, which is used to detect objects «car» and «person». The developed model can be part of a management decision support system or a digital twin of a motor transport company.*

**Keywords:** *service station, neural network, decision support system, control, maintenance and repair of cars, post loading*

## BIBLIOGRAPHY

1. Zakharov N.S. Basic Simulation Models of Car Failure Flows // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2020. - №459(4). - P. 042084. - doi:10.1088/1755-1315/459/4/042084.
2. Bouvard K., Tedie H., Lesobre R. Joint dynamic scheduling of missions and vehicle: value of on-line information vehicle: value of on-line information // IFAC PapersOnLine. - 2018. - №51(24). - P. 837-842. - doi: 10.1016/j.ifacol.2018.09.672.
3. Dobromirov V., Verkhorubov V., Chernyaev I. Systematizing the factors that determine ways of developing the vehicle maintenance system and providing vehicle safety // Transportation Research Procedia. - 2018. - №36. - P. 114-121.
4. Jbili S., Chelbi A., Radhoui M., Kessentini M. Integrated strategy of vehicle routing and maintenance // Reliability Engineering and System Safety. - 2018. - №170. - P. 202-214. - doi: 10.1016/j.ress.2017.09.030.
5. Kossiakoff A., Sweet W.M., Seymour S.J., Biemer S.M. Systems engineering. Principles and practice. 2nd ed. John Wiley and Sons. - 2014. - 213 p.
6. Liu G., Chen S., Jin H., Liu S. Optimum opportunistic maintenance schedule incorporating delay time theory with imperfect maintenance // Reliability Engineering and System Safety. - 2021. - №213. - P. 107668. - doi: 10.1016/j.ress.2021.107668.
7. Lu C.C., Yan S., Li H.C., Diabat A., Wang H.T. Optimal fleet deployment for electric vehicle sharing systems with the consideration of demand uncertainty // Computers & Operations Research. - 2021. - №135. - P. 105437. - doi: 10.1016/j.cor.2021.105437.
8. Markudova D., Mishra S., Cagliero L., Vassio L. et al. Preventive maintenance for heterogeneous industrial vehicles with incomplete usage data // Computers in Industry. - 2021. - №130. - P. 103468. - doi: 10.1016/j.compind.2021.103468.
9. Militao A.M., Tirachini A. Optimal fleet size for a shared demand-responsive transport system with human-driven vs automated vehicles: a total cost minimization approach // Transportation Research Part A. - 2021. - №151. - P. 52-80. - doi: 10.1016/j.tra.2021.07.004.
10. Monteiro Tavares C.M., Szpytko J. Vehicles emerging technologies from maintenance perspective // IFAC-PapersOnLine. - 2016. - №49(28). - P. 067-072. - doi: 10.1016/j.ifacol.2016.11.012.
11. Parameshwaran R., Srinivasan P.S.S., Punniyamoorthy M., Charunyanath S.T, Ashwin C. Integrating fuzzy analytical hierarchy process and data envelopment analysis for performance management in automobile repair shops // European journal of industrial engineering. - 2009. - №3(4). - P. 450-467. - doi: 10.1504/EJIE.2009.027037.
12. Prytz R., Nowaczyk S., R?gnvaldsson T., Byttner S. Predicting the need for vehicle compressor repairs using maintenance records and logged vehicle data // Engineering Applications of Artificial Intelligence. - 2015. - P. 41: 139-150. - doi: 10.1016/j.engappai.2015.02.009.
13. Rokhforoz P., Fink O. Maintenance scheduling of manufacturing systems based on optimal price of the network // Reliability Engineering and System Safety. - 2022. - №217: 108088. - doi: 10.1016/j.ress.2021.108088.
14. Semykina A., Zagorodnii N., Novikov I., Novikov A. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North // Transportation Research Procedia. - 2021. - №57. - P. 611-616.
15. Wang Y., Limmer S., Nguyen D.V., Olhofer M., B?ck T., Emmerich M. Optimizing the maintenance schedule for a vehicle fleet: a simulation based case study // Engineering Optimization. - 2021. - №53. - doi: 10.1080/0305215X.2021.1919888.
16. Kozin E.S. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy po upravleniyu stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobiley // Transport Urala. - 2022. - №3(74). - S. 73-77.
17. Kosilov R.A., Anopchenko N.V., Tereshin N.V., Bogachev A.P. Videokontrol` zheleznodorozhnogo perezda iz kabiny lokomotiva // Zheleznodorozhnyy Transport. - 2007. - №7. - S. 57-58.
18. Kuz`menko O.G., Lin`kov V.V. Reshenie zadachi otsenki sostoyaniya ob"ektov sredstvami videokontrolya i registratsii // Izvestiya Orlovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya: Informatsionnye sistemy i tekhnologii. - 2006. - №1-1. - S. 117-119.
19. Kushnir G.Yu., Minchenko S.N. Sovershenstvovanie metodov kontrolya kachestva tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta na predpriyatiyakh, obsluzhivayushchikh transportnye sredstva razlichnykh marok // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. - 2017. - №3. - S. 70-73.
20. Larina Yu. Sobytiynyy Videokontrol` // Bezopasnost`. Dostovernost`. Informatsiya. - 2009. - №83. - S. 20-40.

**Zakharov Nikolai Stepanovich**  
Tyumen Industrial University  
Address: 625000, Russia, Tyumen, Volodarsky str., 38  
Doctor of technical sciences  
E-mail: zakharovns@tyuiu.ru

**Kozin Evgeniy Sergeevich**  
Tyumen Industrial University  
Address: 625000, Russia, Tyumen, Volodarsky str., 38  
Candidate of technical sciences  
E-mail: kozines@tyuiu.ru

Научная статья

УДК 330.342

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-131-136

О.Ю. ЛУКАШКОВА

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОЦЕНКЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ

*Аннотация.* В статье исследованы концептуальные подходы к идентификации и оценке профессиональных компетенций персонала организации.

*Ключевые слова:* компетенции персонала, профессиональные компетенции, перспектива развития

### **Введение**

Всем известно, что персонал, или кадры, есть штатный состав работников компании, выполняющих разные производственно-хозяйственные обязанности. Его характеризует, прежде всего, численность, структура, профессиональная пригодность, компетентность. Численность персонала определяется предметом, объемом, сложностью, трудозатратностью процессов производства, уровнем их компьютеризации, механизации, автоматизации. [1]

Оценка компетенций персонала – механизм координации качества работы. Основной её задачей будем понимать оценку имеющихся у компании человеческих ресурсов и наиболее эффективным их применении [2].

### **Материал и методы**

Выполненная аналитическая, экспертная и экспериментальная оценка исследования актуальных проблем развития конкурентных профессиональных компетенций, в условиях санкционных ограничений, основополагающих приемов анализа актуальных социально-экономических проблем идентификации и оценки профессиональных компетенций персонала организации свидетельствует о росте интереса среди научных работников и практиков к конвергенции постоянно изменяющихся индивидуальных, коллективных их технологических и рыночных элементов. В то же время в научной и деловой литературе преимущественное внимание отдают предпочтение технократическому исследованию численности персонала и его структуре, а также формализованному институциональному профессиональному ответственности сотрудника компании с набором знаний, умений и навыков для той или иной штатной его квалификации [1].

Наряду с идентификацией конкурентных профессиональных компетенций персонала организации ключевым инструментом менеджментов персонала выступает их количественная оценка. Задачей которой будет не только оценивать имеющиеся человеческие ресурсы и черпать их более эффективно [2], но выполнить их рыночную диагностику. Так как производство и продажи конкурентоспособных товаров и услуг являются в первую очередь результатом деятельности конкурентоспособных сотрудников компании.

Так, происходит ажиотажный, с неодинаковой мерой, спрос на рынке труда, не на рабочую единицу (человека), а предельно конкретные профессиональные компетенции.

### **Теория**

Компании, которые существуют уже несколько десятилетий, более склонны следовать проверенной политике найма, при том сами же затрудняются в поиске высококвалифицированного кандидата.

На законодательном уровне идентификация и оценка компетенций персонала в республике не регламентирована. Тем самым возникает острая потребность в трансформации исследуемой ситуации в белорусских организациях посредством разработки адекватного методического инструментария, в том числе и благодаря оценке конкурентных профессиональных компетенций. Она дает возможность рыночной «сортировки» сотрудников не только по

основным направлениям работы, соответствующей должности, но и определить наличия возможностей, умений, скрытых талантов.

Можно сказать, что успех любой компании обусловлен и тем, что руководитель с самого начала знает, какой специалист какую должность должен занять. Тем самым возникает острая потребность в трансформации исследуемой ситуации в белорусских организациях посредством разработки адекватного методического инструментария, в том числе и благодаря оценке конкурентных профессиональных компетенций [17].

Таблица 1 – Основные трактовки понятия «компетенции»

Наименование	Определение	Признаки	Отличия	Ограничения	Преимущества
Competence (англ.)	Способность, знания; материальное обеспечение; правомочность [4]	Обладать правом, возможностью	Размеренность действий	Материальный недостаток	Стабильность
Competence (франц.)	Ведение; функции, круг обязанностей; осведомленность; юр. Подсудность; специалист; знание правил языка [4]	Конкретный результат	Системность	Определенные рамки	Стабильность
Kompetenz (нем.)	Полномочия; ведение (чем-л.); юр. Подведомственность; соискание, соискатель, конкурент [5]	Репутация	Зависимость от круга обязанностей	Зависимость от внешних и внутренних факторов	Право
Competenza (итал.)	Правомочность; ведение; авторитетность; причитающаяся сумма; необходимое количество; соперничество [6]	Авторитет	Акцент на процесс работы	Постоянный рост	Стабильность
Competencia (исп.)	Соперничество; конкуренция [6]	Воздействие	Взаимоотношения	Зависимость от рынка	Осведомленность
Компетенции	Круг вопросов, явлений, в которых данное лицо обладает авторитетностью, познанием, опытом. Круг полномочий, область подлежащих чьему-нибудь ведению вопросов, явлений [10]	Способность выполнять задачи	Зависимость от опыта коллектива	Односторонность	Стабильность
Авторское	Эмпирический конкурент, обладающий способностью к быстрой ориентации в сложившейся ситуации	Стратегическое планирование	Гибкость подхода	Нет	Глобальное развитие личности

### **Результаты и обсуждение**

В этой связи следует заметить, что исследователи прежде всего подчеркивают, что термин «компетенция» применяют для начертания границ области действия, а «компетентность» – для оценки качества действия.

Так, понятие «компетенция» содержит знание как понимание – теоретическое знание, т.е. способность знать и понимать, знание как действие – практическое знание в конкретной ситуации, знание как бытие – преимущество знаний как часть образа принятия и жизни с другими в социальном контексте [3] в традиционном понимании.

Поэтому весьма актуальна сравнительная оценка интерпретации термина «компетенции» как с позиции традиционной парадигмы «знания, умения и навыка», так и с позиции парадигмы «конвергенции технократического и рыночного компонента» профессиональных кондиций сотрудника компании.

Сравнительная оценка существующей практики интерпретации термина «компетенции» как с позиции традиционной парадигмы «знания, умения и навыка» [16] свидетельствует, что в настоящее время игнорируется парадигма «конвергенция технократического и рыночного компонента» профессиональных кондиций сотрудника.

Так, Базаров Т.Ю. говорит, что компетенции – это требования успешной деятельности, сформулированные в терминах интегральных качеств индивидуального или коллективного субъекта [7]. «Компетентность» – характеристика возможностей и готовности субъекта труда к труду [8].

Э.Ф. Зеер говорит, что профессиональная компетентность есть комплексное качество личности сотрудника, в составе системы знаний и навыков, обобщенных способов решения типовых задач. Можно понять, что профессиональная компетентность содержит в себе личностную компетентность, профессионально-практическую, методологическую [9].

Проведенный анализ в таблице 1 позволяет сделать вывод, что акцент идет на быстрое решение типовых задач. Так можно сказать, что компетенции представляют собой систему референций, относящихся к навыкам и знаниям не только в определенных рамках работы, но и способностью их применять вне своих полномочий, умение синтезировать физический и искусственный интеллект.

Мы же будем понимать компетенции как эмпирического конкурента, обладающего способностью к быстрой ориентации в сложившейся ситуации.

Поэтому профессиональные компетенции персонала организации следует рассматривать исходя из конвергенции постоянно изменяющихся индивидуальных, коллективных и технологических, и рыночных элементов и интерпретировать как способность мастера сотрудника компании выполнять свои технологические обязанности, обеспечивающие регламентированное функционирование производства конкурентоспособных товаров и услуг.

Сформулированное определение весьма актуально в условиях нарастающей динамики профессиональных компетенций личности, раскрытие понятий «цифровая компетенция», «SMART-компетенция личности» и также «информационная компетенция» и технологий организации, которые с ними связаны непосредственно, накапливается и выходит на первый план.

Идентификация, обоснование адекватной оценки конкурентных профессиональных компетенций, качественное измерение эффективности расходов на их развитие и практическое применение в организации остается сложным и неоднозначным процессом, который изучен слабо. Сложность при оценке профессиональных компетенций [18] обусловлены наличием и интегрированным взаимодействием не только классического коммуникативного, социального и экономического эффектов, но и значительными изменениями подхода к привлечению нужных кадров с внедрением профессиональных компетенций в бизнес-процесс.

Глобальная цифровая трансформация мирового рынка определяет потребности в компетенциях будущего [12]. В этой связи антиципация потребностей в будущих компетенциях становится практикой, которая поможет уравновесить рынок труда. Помощь в развитии человеческого актива в век цифровизации нужно осуществлять не только через непрерывное

обучение но и переходить в этом обучении к новой роли в понимании цифрового мастерства обучаемых и обучающихся от «to teach» (учить) к «to learn» (учиться) [11].

Основные методологические проблемы:

1. Теория и методология традиционных подходов к идентификации и оценке конкурентных профессиональных компетенций основывается на разработанных стандартах.

2. Недостаточно учитываются преимущества конкурентных организаций, внедрение инновационная деятельность.

3. Концептуальный подход к идентификации и оценке конкурентных профессиональных компетенций персонала как основа организации: 1) уровень квалификации; 2) наличие дополнительных навыков; 3) персональные черты работника; 4) подход к работе; 5) потенциал для саморазвития, означает наличие идеальных входных параметров, а после проверяет его соответствие в большей или меньшей степени.

Поэтому необходимо рекомендовать следующую концепцию идентификации и оценке конкурентных профессиональных компетенций: 1) везде нужно писать конвергенция технологического и рыночного компонента потенциал для саморазвития; 2) уровень квалификации; 3) наличие дополнительных навыков; 4) потенциал для саморазвития; 5) подход к работе, которая должна быть основана на персонализированных устремлённых к совершенству нужд и предпочтений организации.

4. Формулировка «компетенции» как знания, умения и навыки не рассматривает такие основные функции как конкуренция, соперничество.

Так, отсутствуют концептуальные подходы к идентификации и оценке конкурентных профессиональных компетенций персонала организации, различные методические положения идентификации и оценки компетенций говорят об их актуальности и спорности.

### **Выводы**

В этой связи можно заметить достаточный диапазон прочтения термина «профессиональных компетенций» [13], и отсутствие фиксированного мнения по поводу его конечного определения. Последнее дает понять, что инициирование слабой конкуренции зачастую столкнувшихся между собой традиционных бизнес-решений компании, которые пренебрегают маркетинговым потенциалом компетенций (уникальность, сложность, возможность совершенствования, обеспечение эффекта синергии, продолжительность и др.). Искусственный интеллект [14] приводит в движение профессиональные компетенции и вызывает ряд преобразований. С одной стороны, имеет место вектор укрепления самостоятельности отдельных функций сотрудника: «Свобода в рамках стратегии», «Свобода управления собственным рабочим временем», «Возможность принятия решений на определенном уровне» и т.д. С другой стороны, особой стала «конвергенция» частей компетенции [15]. Эти преобразования привели к трансформации традиционного подхода к оценке профессиональных компетенций.

Оценку профессиональных компетенций персонала следует проводить комплексно, поэтому лучше комбинировать методы, которые соответствуют следующим критериям: доля на рынке, как индикатор работы организации; объем; капитализация, когда на первое место выходят люди, возможности; дивиденды, выходя из активной деятельности, совладелец уносит с собой свои компетенции и может оставаться совладельцем бизнеса.

Компетенцию можно считать вложенной в капитал, когда сама организация, независимо от первоначального носителя компетенции, приобретает соответствующие навыки и умения. Компетенция также может быть нужна организации только на каком-то этапе ее деятельности, и после завершения этого этапа компетенцию тоже можно считать внесенной в капитал. На практике встречаются различные промежуточные ситуации, в которых трактовать степень передачи компетенции еще сложнее. В корпоративном праве механизмы, позволяющие формализовать критерии осуществления передачи компетенции отсутствуют. Учредители бизнесов решают эту проблему самостоятельно, основываясь либо на взаимном доверии, либо на специальных договорных отношениях, зависящих от конкретной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Персонал организации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5617174/page:16>.
2. Оценка компетенций персонала: 5 методов определения профпригодности [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.gd.ru/articles/10219-otsenka-kompetentsiy-personala>.
3. Tuning project [Electronic resource] / Режим доступа: <http://www.unideusto.org/tuningeu/documents.html>
4. Непочатых Е.П. Развитие представлений о понятиях «компетенция» и «компетентность» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/185561988.pdf>.
5. Компетентностный подход в профессиональном педагогическом и музыкальном образовании [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25657002>.
6. Большой словарь иностранных слов на русском языке. – М.: Юнвес, 2005.
7. Материалы круглого стола «Проблема компетенций в психологии и управлении персоналом» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ht-lab.ru/knowledge/articles/materialy-kruglogo-stola-problema-kompetentsiy-v-psikhologii-i-upravlenii-personalom>.
8. Сайт ответов на экзаменационные вопросы по психологии [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://psymsuotvety.jimdofree.com>.
9. Зеер Э.Ф. Психология личноно ориентированного профессионального образования. - Екатеринбург, 2000.
10. Словарь Ушакова [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://znachenie-slova.ru>.
11. Ульянина О.А. Компетентностный подход в научной парадигме российского образования [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/327017847\\_Competence](https://www.researchgate.net/publication/327017847_Competence).
12. Смирнов Е.Н. Цифровая трансформация мировой экономики: торголя, производство, рынки [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/38MNNPM19.pdf?ysclid=lk9ih5091336344295>.
13. Афанасьева С.И. Профессиональные компетенции [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.pro-personal.ru>.
14. Искусственный интеллект: что это и его возможности [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.nur.kz/family/school/1817736-iskusstvennyj-intellekt-sovremennye-vozmoznosti-i-perspektivy>.
15. Конвергентный подход к формированию профессиональных компетенций в современных условиях [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://infourok.ru/statya-konvergentnyj-podhod-k-formirovaniyu-professionalnyh-kompetencij-v-sovremennyh-usloviyah-v-sisteme-spo-5823>.
16. Знания, умения и навыки: в чем разница? [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://reshit.ru/znaniya-umeniya-navyki-v-chem-raznica?ysclid=lkazmbo69j2288249>.
17. Оценка компетенций персонала [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.gd.ru/articles/10219-otsenka-kompetentsiy-personala?ysclid=lkz8z72753960329>.
18. Модель системы оценки профессиональных компетенций [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17261&ysclid=lkb0lv4ezz746010395>.
19. Оценка компетенций [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://cdto.work/ocenka-kompetencij/?ysclid=lkb0qrdkg1452735173>.
20. Иванова Л.А. Оценка уровня сформированности профессиональных компетенций [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://nsportal.ru/npo-spo/energetika-energeticheskoe-mashinostroenie>.

**Лукашкова Ольга Юрьевна**

Белорусский национальный технический университет

Адрес: 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Аспирант

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

---

O.Y. LUKASHKOVA

**CONCEPTUAL APPROACHES TO THE IDENTIFICATION AND ASSESSMENT OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF THE ORGANIZATION'S PERSONNEL**

*Abstract.* The article examines conceptual approaches to the identification and assessment of professional competencies of the organization's personnel.

*Keywords:* personnel competencies, professional competencies, development perspective

## BIBLIOGRAPHY

1. Personal organizatsii [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://studfile.net/preview/5617174/page:16>.
2. Otsenka kompetentsiy personala: 5 metodov opredeleniya profprigodnosti [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.gd.ru/articles/10219-otsenka-kompetentsiy-personala>.
3. Tuning project [Electronic resource] / Rezhim dostupa: <http://www.unideusto.org/tuningeu/documents.html>
4. Nepochatykh E.P. Razvitiye predstavleniy o ponyatiyakh «kompetentsiya» i «kompetentnost'» [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://core.ac.uk/download/185561988.pdf>.
5. Kompetentnostnyy podkhod v professional`nom pedagogicheskom i muzykal`nom obrazovanii [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25657002>.
6. Bol'shoy slovar` inostrannykh slov na russkom yazyke. - M.: YUnves, 2005.
7. Materialy kruglogo stola «Problema kompetentsiy v psikhologii i upravlenii personalom» [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://ht-lab.ru/knowledge/articles/materialy-kruglogo-stola-problema-kompetentsiy-v-psikhologii-i-upravlenii-personalom>.
8. Sayt otvetov na ekzamenatsionnye voprosy po psikhologii [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://psymsuotvety.jimdofree.com>.
9. Zeer E.F. Psikhologiya lichnostno orientirovannogo professional`nogo obrazovaniya. - Ekaterinburg, 2000.
10. Slovar` Ushakova [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://znachenie-slova.ru>.
11. Ul`yanina O.A. Kompetentnostnyy podkhod v nauchnoy paradigme rossiyskogo obrazovaniya [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: [https://www.researchgate.net/publication/327017847\\_Competence](https://www.researchgate.net/publication/327017847_Competence).
12. Smirnov E.N. Tsifrovaya transformatsiya mirovoy ekonomiki: torgolya, proizvodstvo, rynki [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://izd-mn.com/PDF/38MNNPM19.pdf?ysclid=1k9ih5091336344295>.
13. Afanas`eva S.I. Professional`nye kompetentsii [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.personal.ru>.
14. Iskusstvennyy intellekt: chto eto i ego vozmozhnosti [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.nur.kz/family/school/1817736-iskusstvennyj-intellekt-sovremennye-vozmozhnosti-i-perspektivy>.
15. Konvergentnyy podkhod k formirovaniyu professional`nykh kompetentsiy v sovremennykh usloviyakh [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://infourok.ru/statya-konvergentnyj-podhod-k-formirovaniyu-professionalnyh-kompetencij-v-sovremennykh-usloviyah-v-sisteme-spo-5823>.
16. Znaniya, umeniya i navyki: v chem raznitsa? [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://reshit.ru/znaniya-umeniya-navyki-v-chem-raznicaysclid=1kazmbo69j2288249>.
17. Otsenka kompetentsiy personala [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.gd.ru/articles/10219-otsenka-kompetentsiy-personalaysclid=1kzt8z72753960329>.
18. Model` sistemy otsenki professional`nykh kompetentsiy [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://science-education.ru/ru/article/viewid=17261&ysclid=1kb0lv4ezz746010395>.
19. Otsenka kompetentsiy [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://cdto.work/ocenka-kompetencij/ysclid=1kb0qrdkg1452735173>.
20. Ivanova L.A. Otsenka urovnya sformirovannosti professional`nykh kompetentsiy [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://nsportal.ru/npo-spo/energetika-energeticheskoe-mashinostroenie>.

**Lukashkova Olga Yurievna**

Belarusian National Technical University

Address: 220013, Republic of Belarus, Minsk, Nezavisimosti Ave., 65

Graduate student

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

Научная статья

УДК 656.025.4

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-137-143

ЛИ СЯОКУНЬ, В.В. ЗЫРЯНОВ

## РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ BRT В Г. ЦЗИНАНЬ (КНР)

**Аннотация.** В данной статье представлено исследование интеллектуальной структуры BRT (Bus Rapid Transit) в области транспорта. Благодаря возможности изменения данных в реальном времени и точности интеллектуального транспорта в структуре BRT, было зафиксировано устранение недостатков при организации движения на общественном транспорте. Теоретическая значимость заключается в разработке новых методов управления для повышения качества пассажирских перевозок в системе BRT. Это подтверждает необходимость применения интеллектуальной системы управления. Кроме того, было найдено оптимальное решение для управления системой BRT в реальном времени.

**Ключевые слова:** BRT (Bus Rapid Transit), скоростные автобусные перевозки, Интеллектуальные транспортные системы (ИТС), генетический алгоритм (GA Genetic Algorithm), интервал отправления автобуса, весовой фактор; моделирование

### Введение

Технологии BRT (Bus Rapid Transit) в автобусных перевозках представляют собой систему общественного транспорта созданную и спроектированную таким образом, чтобы обеспечить большую объем перевозок, надежность и другие качественные характеристики, по сравнению с обычными автобусными системами. В рамках изучения проблемы внедрения современных технологий в Китае установлено, что необходимо использовать интеллектуальную систему BRT для управления и в режиме реального времени для улучшения организации перевозок. Кроме того, необходимо корректировать интервалы отправления автобуса BRT. В конечном итоге, это может в значительной степени улучшить удовлетворенность пассажиров.

### Материал и методы

Для полноценного изучения данного вопроса, необходимо, в первую очередь, определить, как оптимизировать и скорректировать частоту движения BRT. В теории и практике для этого использовались различные методы. Например, существуют способы регулирования интервала отправления автобусов BRT с помощью навигационной системы GLONASS или навигационной системы BEIDOU; способы балансировки и структурирования затрат на функционирования системы BRT. Кроме того, существует несколько методов, которые используют генетические алгоритмы (GA Genetic Algorithm) для расчета общей стоимости поездки пассажиров, пользующихся BRT. В данной статье при моделировании используется комбинирование интеллектуальных систем с системами BRT. Стоимость поездки для пассажиров и затраты автобусных компаний рассматриваются как ключевые факторы при регулировании интервала отправления автобусов BRT.

### Теория / Расчет

#### 1 Создание модели

#### 1.1 Модели оптимизации расписания с учетом стоимости и номинальной вместимости автобуса (Использованы генетические алгоритмы для вычислений (GA))

В рамках моделирования использовались следующие критерии:

- Стоимость времени ожидания для пассажиров
- Стоимость заполнения автобуса пассажирами
- Целевая функция эксплуатационных расходов автобусной компании

Схема работы модели выглядит следующим образом (рис. 1).



Рисунок 1-Технологическая схема работы модели

Минимальные затраты на время ожидания и максимальный комфорт пассажиров являются целями пассажиров, в то время как достижение максимальной вместимости автобуса является целью автобусной компании.

Стоимость времени ожидания автобуса пассажирам высчитывается по следующей формуле

$$VT_{ik} = \lambda_{ik} * \frac{1}{2} \Delta t_k^2, \tag{1}$$

где  $VT_{ik}$  - время ожидания пассажиров на остановке  $i$  в течение периода  $k$ ;

$i$  - номер автобусной остановки;

$k$  - период времени;

$\Delta t_k$  - интервал отправления в пределах периода времени  $k$ .

Для всей автобусной линии общее время ожидания пассажиров составляет

$$VT = \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^l \lambda_{ik} * \frac{1}{2} \Delta t_k^2, \tag{2}$$

где  $VT$  - общее время ожидания пассажиров;

$i$  - номер автобусной остановки;

$k$  - период времени;

$\Delta t_k$  - интервал отправления в пределах периода времени  $k$ .

Общая стоимость ожидания автобуса пассажирами составляет

$$X_1 = \gamma_1 * \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^l \lambda_{ik} * \frac{1}{2} \Delta t_k^2 = \gamma_1 * \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^l P_{ik} * \frac{1}{2} \Delta t_k^2, \tag{3}$$

где  $i$  - номер автобусной остановки;

$k$  - период времени;

$\Delta t_k$  - интервал отправления в пределах периода времени  $k$ ;

$P_{ik}$  - количество пассажиров в автобусе на автобусной остановке  $i$  за  $k$  период времени;

$\gamma_1$  - стоимость ожидания для пассажира (юань);

$\lambda_{ik}$  - вероятность того, что пассажиры на автобусной остановке  $i$  смогут добраться до автобусной остановки в течение  $k$  периода времени.

*Стоимость заполнения автобуса пассажирами*

Во время поездки, стоимость и оценка заполнения автобуса может быть выражена дискомфортом или определенными неудобствами для пассажиров. Загруженность автобуса пассажирами может быть отражена только в том случае, если отношение количества пассажиров в автобусе на определенной остановке к общей пассажироместности автобуса превышает коэффициент вместимости транспортного средства (ICF) :

$$\Delta = \begin{cases} 1, & ICF \leq \frac{P_{ik}}{(Q_1 + Q_2)F_k} \\ 0, & ICF \geq \frac{P_{ik}}{(Q_1 + Q_2)F_k} \end{cases}, \tag{4}$$

где  $Q_2$  - число пассажирских мест в автобусе;

$Q_1$  - номинальная пассажироместность в автобусе;

$F_k$  - частота отправления автобусов в течение периода времени  $k$ ;

$P_{ik}$  - количество пассажиров в автобусе на автобусной остановке  $i$  за  $k$  период времени.

Функция расстояния между пассажирами при переполнении

$$\eta = \sum_{c=1}^c (Q_{ikp} - Q_2) * L_c * \Delta z, \tag{5}$$

где  $Q_2$  - число пассажирских мест в автобусе;

$c$  - обозначение переполненной остановки;

$Q_{ikp}$  - пассажиропоток автобуса, при котором  $q$ -й автобус находится в переполненном состоянии в течение  $k$  периода времени на автобусной остановке  $i$ ;

$L$  - общая длина автобусной линии.

Затраты при работе автобуса в режиме пиковой загрузки

$$X_2 = \gamma_2 * \eta = \gamma_2 * \sum_{c=1}^c (Q_{ikp} - Q_2) * l_c * \Delta z, \quad (6)$$

где  $Q_2$  - число пассажирских мест в автобусе;

$F_k$  - частота отправления автобусов в течение периода времени  $k$ ;

$c$  - обозначение переполненной остановки;

$Q_{ikp}$  - пассажиропоток автобуса, при котором  $q$ -й автобус находится в переполненном состоянии в течение  $k$  периода времени на автобусной остановке  $i$ ;

$l$  - расстояние между двумя соседними автобусными остановками (км);

$\gamma_2$  - стоимость переполненности автобуса для пассажиров (юань).

Целевая функция эксплуатационных расходов автобусной компании

Эксплуатационные расходы автобуса

$$X_3 = \gamma_3 * L \sum_{k=1}^k \left( \frac{T_k}{\Delta t_k} \right) + \left( \sum_{i=1}^i (e_i + b_i) * (E_i + B_i) + \sum_{i=1}^i \delta_i \right) * \lambda, \quad (7)$$

где  $T_k$  - общее эксплуатационное время за  $k$  период времени;

$L$  - общая длина автобусной линии;

$e$  - среднее время выхода пассажиров из автобуса;

$b$  - среднее время посадки пассажиров;

$\delta$  - время разгона и замедления транспортного средства;

$B$  - количество пассажиров в автобусе на автобусной остановке ;

$E$  - количество пассажиров, выходящих на автобусной остановке;

$\lambda$  - коэффициент преобразования затрат во времени для автобусной компании;

$\gamma_3$  - средняя стоимость проезда на километр (юань).

### 1.2 Анализ состояния

В модели расписания отправления автобуса основными условиями являются установленные временные ограничения на интервал отправления автобуса, общее количество автобусных остановок и средний показатель полной загрузки автобуса.

Интервал отправления

$$\Delta t_{kmin} \leq \Delta t_k \leq \Delta t_{kmax}, \quad (8)$$

где  $\Delta t_k$  - интервал отправления в пределах периода времени  $k$ .

Общее количество отправок автобусов BRT ограничено общим объемом максимального количества отправок BRT

$$\sum_{k=1}^k F_k \leq F_{max}, \quad (9)$$

где  $F_k$  - частота отправления автобусов в течение периода времени  $k$ .

Условия для средней нормы по полной загрузке автобуса BRT.

Для обеспечения эксплуатационных расходов автобусной компании средняя норма полной загрузки автобуса должна быть больше минимальной нормы полной загрузки. Когда коэффициент использования вместимости автобуса составляет 50 %, то можно считать, что места в автобусе заполнены. Поэтому 50 % принимается за нижний предел коэффициента загрузки автобуса.

$$ICF \geq 0.5$$

Таким образом, общая модель оптимизации расписания принимает вид

$$\text{Min } X = \omega_1 X_1 + \omega_2 X_2 + \omega_3 X_3 ;$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \Delta t_{kmin} \leq \Delta t_k \leq \Delta t_{kmax} \\ \sum_{k=1}^k F_k \leq F_{max} \\ ICF \geq 0.5 \end{cases}, \quad (10)$$

где  $\omega$  - вес каждого показателя,

$F_{max}$  - общее количество отправок автобусов BRT

$\Delta t_{min}$  - минимальный интервал отправления в течение k периодов времени

$\Delta t_{max}$  - максимальный интервал отправления в течение k периодов времени

## 2 Расчет схемы BRT для г. Цзинань

### 2.1 Тематическое исследование

#### Анализ конкретных случаев

В рамках данного исследования берется анализ использования BRT-7 в городе Цзинань в качестве практического примера. Отправной точкой маршрута является район Цзоучжуан, а конечной точкой маршрута является Цзинаньский Университет. На данном маршруте есть 24 автобусные остановки. Общая эксплуатационная протяженность составляет 18,41 км. Часы работы - 06:00-21:00. Интервал отправления изменяется от 4 до 20 минут.



Рисунок 2- BRT-7 Схема автобусного маршрута

### 2.2 Определение основных параметров модели

$F_{max}$  - общее количество отправок автобусов BRT. Это значение равно 120 (раз / день);

$\Delta t_{min}$  - минимальный интервал отправления в течение k периодов времени. Это значение равно 1 (мин);

$\Delta t_{max}$  - максимальный интервал отправления в течение k периодов времени. Это значение равно 20 (мин);

$Q_1$  - номинальная пассажировместимость в автобусе. Это значение равно 153 (человек);

$Q_2$  - число пассажирских мест в автобусе. Это значение равно 35 (человек);

ICF - коэффициент загрузки автобуса. Это значение равно 50 %;

L - общая длина линии. Это значение равно 18,41 (км);

$\gamma_1$  - стоимость ожидания для пассажира (юань). Это значение равно 2.33;

$\gamma_2$  - стоимость переполненности автобуса для пассажиров (юань). Это значение равно 0.02417357;

$\gamma_3$  - средняя стоимость проезда на автобусе на километр (юань). Это значение равно 3.33;

$\lambda$  - коэффициент преобразования затрат во времени для автобусной компании. Это значение равно 857 (с/юань);

e - среднее время выхода пассажиров из автобуса, постоянное. Это значение равно 30 (с);

b - среднее время посадки пассажиров, постоянное. Это значение равно 2 (с);

$\delta$  - время разгона и замедления транспортного средства, постоянное. Это значение равно 2 (с)

### 2.3 Настройка параметров генетического алгоритма

Задаем следующие параметры генетического алгоритма

M - численность популяции в генетическом алгоритме. Это значение равно 200;

T - индекс цикла. Это значение равно 300;

Pc - вероятность пересечения. Это значение равно 0.4;

$P_m$  - вероятность мутации. Это значение равно 0.005;

$N_{max}$  - максимальный параметр итерации. Это значение равно 200.

### 3 Оптимизированные результаты

В соответствии с различными значениями веса в модели, результаты оптимизации также отличаются по ряду параметров. Использование MATLAB для выполнения имитационных вычислений.

Таблица 1 - Оптимальный интервал отправления автобуса при различных весовых факторов (утром)

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\Delta t$ (min)	Нумерация	Затраты для пассажиров	Расходы автобусной компании (стоимость эксплуатации)	Суммарные затраты
0.3332	0.3332	0.3336	1.828586432	№.1	2013.944298	4213607.127	4215621.072
0.1428	0.1225	0.7347	3.155474526	№.2	5997.162619	4211915.388	4217912.551
0.1321	0.6346	0.2333	2.209426366	№.3	2940.190928	4212913.659	4215853.85
0.6221	0.1121	0.2658	1.376669974	№.4	1141.500613	4214927.791	4216069.291
0.2429	0.3898	0.3673	2.098015297	№.5	2651.146757	4213090.474	4215741.621

Таблица 2 - Оптимальный интервал отправления автобуса при различных весовых факторов (полдень)

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\Delta t$ (min)	Нумерация	Затраты для пассажиров	Расходы автобусной компании (стоимость эксплуатации)	Суммарные затраты
0.3332	0.3332	0.3336	2.117391769	№.6	1739.292402	2903562.386	2905301.678
0.1428	0.1225	0.7347	3.653714868	№.7	5178.923116	2902101.467	2907280.391
0.1321	0.6346	0.2333	2.558383297	№.8	2539.226144	2902963.502	2905502.728
0.6221	0.1121	0.2658	1.594126732	№.9	985.8613666	2904702.838	2905688.699
0.2429	0.3898	0.3673	2.429379224	№.10	2289.606161	2903116.196	2905405.802

Таблица 3 - Оптимальный интервал отправления автобуса при различных весовых факторов (вечером)

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\Delta t$ (min)	Нумерация	Затраты для пассажиров	Расходы автобусной компании (стоимость эксплуатации)	Суммарные затраты
0.3332	0.3332	0.3336	2.031600636	№.11	1812.77522	3205373.103	3207185.879
0.1428	0.1225	0.7347	3.505865703	№.12	5398.310084	3203850.379	3209248.689
0.1321	0.6346	0.2333	2.454656654	№.13	2646.359142	3204749.012	3207395.371
0.6221	0.1121	0.2658	1.529554271	№.14	1027.536027	3206561.66	3207589.196
0.2429	0.3898	0.3673	2.330965165	№.15	2386.375832	3204908.047	3207294.423

### Результаты и обсуждение

Расходы автобусных компаний и затраты пассажиров различны при разном весе отдельных факторов (что продемонстрировано в таблицах 1-3). При последующем анализе можно сравнить общую стоимость BRT. Когда вес показателей:  $\omega_1 = 0,3332$ ,  $\omega_2 = 0,3332$ ,  $\omega_3 = 0,3336$ , стоимость общего целевого значения является наименьшей. Эта модель обладает очень надежной сходимостью, а оптимальный интервал BRT относительно точен и составляет  $\{\Delta t(\text{min}) = 2\}$  минут (утренний пик, вечерний пик), поэтому после точного моделирования и расчета с помощью MATLAB, в итоге можно получить точный интервал отправления BRT.

Когда вес смещается в пользу пассажиров, то состав общественного транспорта увеличится, а время ожидания автобуса пассажирами и степень загруженности автобуса уменьшатся. Когда он смещен в сторону автобусных компаний, стоимость ожидания и загруженность пассажиров значительно возрастут, отражая, что влияние пассажиров на степень загруженности может в значительной степени повлиять и на интервал отправления автобуса. В то же время мы можем обнаружить, когда весовые факторы смещаются в сторону автобусной компании, суммарные затраты увеличиваются. (что продемонстрировано в таблицах 1-3). Благодаря приведенным результатам было обнаружено, что: №1, №6, №11 обладают интервалом отправления автобуса BRT с наименьшей стоимостью; №2, №7, №12 - самым доро-

гим интервалом отправления автобуса BRT. При этом, BRT стоимость выбора №6 на 31.08 % ниже, чем стоимость №1. Стоимость выбора №6 на 9.42 % ниже, чем стоимость №11. Стоимость выбора №11 на 23.92 % ниже, чем стоимость выбора № 1. При том же весовых факторов, по мере изменения количества пассажиров, стоимость перевозки сильно изменится.

Благодаря расчетным выводам можно обнаружить, что различные значения весовых факторов оказывают большее влияние при моделировании с использованием генетического алгоритма.

### **Выводы**

Благодаря оптимизации интервалов отправления в системе можно не только улучшить социальные преимущества BRT, но и увеличить экономические выгоды внедрения BRT. При условии точного учета интервала отправления BRT, количества отправок BRT и пассажиропотока BRT, изучается и формируется наиболее выгодное расписание отправления автобусов BRT. На основе всестороннего учета ограничений, с целью уменьшения времени ожидания автобуса пассажирами, обеспечения комфорта пассажиров и минимальных эксплуатационных расходов автобусной компании, преимущества интеллектуальной системы используются полностью во всей системе BRT, при этом формируя быструю и эффективную интеллектуальную систему BRT.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. McNally R.A., Homaoun Vahidi, Susan Spencer, Keenan Kitasaka. 98 B-Line Bus Rapid Transit Evaluation Study, IBI and Translink, 2003.
2. Lindau L., Hidalgo D., Facchini D. Curitiba, the cradle of Bus Rapid Transit // Built Environment. – 2010. - №36(3). – P. 274-282.
3. ITDP. Bus Rapid Transit Planning Guide. New York: Institute for Transportation & Development Policy, 2007.
4. Быкова Т.А., Серветник А.А., Рузанова В.Д., Хмелева Т.И. Организация перевозок на транспорте. - Саратов: Приволжское кн. изд-во, 2005. - 106 с.
5. Embarq. Modernizing public transportation. World Resources Institute, Washington, 2010.
6. Diaz Roderick B., Dennis Hinebaugh. Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making. Tampa: National Bus Rapid Transit Institute, 2009.
7. Deng Taotao, John D. Nelson. Recent Developments in Bus Rapid Transit: A Review of the Literature // Transport Reviews. - №31:1. – 2010. – P. 69-96.
8. BRT Bus Rapid Transit-Why more communities are choosing Bus Rapid Transit // Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council. - 2001.
9. Лу Симминг. Quick Bus System. - Шанхай: Университет Тонгдзи, 2005.
10. Сюй Канминг, Кай Цзяньхен. Быстрое планирование и проектирование системы шины. - Пекин: Китайская строительная промышленность, 2010.
11. Артемьев С.П. Перевозки грузов автомобильным транспортом. - М.: Транспорт, 2005. - 248 с
12. LUO DAMING, LI XIAOJING. Пекин Нанчжонгсианский автомобильный автобус (BRT) Smart Bus System System Общая сумма дизайна // Инженерная и информация о транспортной системе. – 2005. - №5(2). - 972103.
13. Дэн Юлонг. Основные методы серой системы. Ухан: Университет Технологического университета Хуажонга, 1988.
14. Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. - М.: Академия, 2010. - 400 с.
15. Горев А.Э. Информационные технологии в управлении логистическими системами. - СПб.: СПбГУ АСУ, 2008. - 193 с.
16. Чжао Шужи, Ван Донг, Лю Хуашэн и др. Многомодельная конфигурация обычных автобусных линий Оптимизационная модель // Журнал Пекинского технологического университета. – 2017. - №10. - 1529-1534.
17. Дай Чуньцзе, Ли Иньжэнь, Ма Чанси и др. Оптимизация частоты отправления экспресс-перевозок несколькими транспортными средствами в зависимости от спроса, зависящего от времени // Журнал транспортной инженерии. – 2017. - №17(1). – С. 129-139.
18. Ван Сюэран, Лю Вэньфэн, Ли Бинь и др. Исследование по оптимизации интервала отправления чисто электрических автобусов быстрого сообщения с учетом уровня обслуживания. Проектирование транспортных систем и Информация. – 2017. - №17(1). – С. 171-175.
19. Сяо Нин, Цзэн Цзяньчао. Алгоритм программирования с ограничением случайных шансов, основанный на комбинации случайного моделирования и алгоритма PSO // Компьютерные приложения и программное обеспечение. – 2009. - №26(4).
20. Ceder A., Golany B., Tal O. Creating bus time tables with maximal synchronization // Transportation Research PartA: Policy and Practice. – 2001. - 35(10). – P. 913-928.

### **Ли Сяокунь**

Донской государственный технический университет  
Адрес: 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1  
Аспирант  
E-mail: 729949756@qq.com

**Зырянов Владимир Васильевич**

Донской Государственный Технический Университет

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

Д.т.н., зав. кафедрой организация перевозок и дорожного движения

E-mail: tolbaga@mail.ru

L.I. XIAOKUN, V.V. ZYRYANOV

## IMPLEMENTATION OF THE BRT INTELLIGENT CONTROL SYSTEM IN JINAN (CHINA)

**Abstract.** The paper presents a study of the intelligent structure of BRT (Bus Rapid Transit) in the field of transport. Thanks to the real-time and precision of intelligent transport, the BRT structure, the shortcomings in public transport are eliminated. The theoretical significance lies in the development of new management methods to improve the quality of passenger transportation in the BRT system. This confirms the need for an intelligent control system. The optimal solution for real-time BRT system management has been found.

**Keyword:** BRT (Bus Rapid Transit), high-speed bus transportation, Intelligent transport systems (ITS), Genetic algorithm (GA Genetic Algorithm), Bus departure interval, weight factor, simulation

### BIBLIOGRAPHY

1. McNally R.A., Hodayoun Vahidi, Susan Spencer, Keenan Kitasaka. 98 B-Line Bus Rapid Transit Evaluation Study, IBI and Translink, 2003.
2. Lindau L., Hidalgo D., Facchini D. Curitiba, the cradle of Bus Rapid Transit // Built Environment. - 2010. - №36(3). - R. 274-282.
3. ITDP. Bus Rapid Transit Planning Guide. New York: Institute for Transportation & Development Policy, 2007.
4. Bykova T.A., Servetnik A.A., Ruzanova V.D., Hmeleva T.I. Organizatsiya pervozok na transporte. - Saratov: Privolzhskoe kn. izd-vo, 2005. - 106 s.
5. Embarq. Modernizing public transportation. World Resources Institute, Washington, 2010.
6. Diaz Roderick B., Dennis Hinebaugh. Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making. Tampa: National Bus Rapid Transit Institute, 2009.
7. Deng Taotao, John D. Nelson. Recent Developments in Bus Rapid Transit: A Review of the Literature // Transport Reviews. - №31:1. - 2010. - R. 69-96.
8. BRT Bus Rapid Transit-Why more communities are choosing Bus Rapid Transit // Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council. - 2001.
9. Lu Simming. Quick Bus System. - Shangkai: Universitet Tongdzhhi, 2005.
10. Syuy Kanming, Kay TSzyan`khen. Bystroe planirovanie i proektirovanie sistemy shiny. - Pekin: Kitayskaya stroitel'naya promyshlennost', 2010.
11. Artem`ev S.P. Perevozki грузов avtomobil`nym transportom. - M.: Transport, 2005. - 248 s
12. LUO DAMING, JI XIAOJING. Pekin Nanchzhongksianskiy avtomobil`nyy avtobus (BRT) Smart Bus System System Obshchaya summa dizayna // Inzhenernaya i informatsiya o transportnoy sisteme. - 2005. - №5(2). - 972103.
13. Den Yulong. Osnovnye metody seroy sistemy. Ukhan: Universitet Tekhnologicheskogo universiteta Huazhonga, 1988.
14. Spirin I.V. Organizatsiya i upravlenie passazhirskimi avtomobil`nymi perevozkami. - M.: Akademiya, 2010. - 400 s.
15. Gorev A.E. Informatsionnye tekhnologii v upravlenii logisticheskimi sistemami. - SPb.: SPbGU ASU, 2008. - 193 s.
16. CHZhao Shuzhi, Van Dong, Lyu Huashen i dr. Mnogomodel'naya konfiguratsiya obychnykh avtobusnykh li-niy Optimizatsionnaya model' // Zhurnal Pekinskogo tekhnologicheskogo universiteta. - 2017. - №10. - 1529-1534.
17. Day Chun`tsze, Li In`chzhen`, Ma Chansi i dr. Optimizatsiya chastoty otpravleniya ekspress-perevozk neskol'kimi transportnymi sredstvami v zavisimosti ot sprosa, zavislyashchego ot vremeni // Zhurnal transportnoy inzhenerii. - 2017. - №17(1). - S. 129-139.
18. Van Syueran, Lyu Ven`fen, Li Bin` i dr. Issledovanie po optimizatsii intervala otpravleniya chisto elektricheskikh avtobusov bystrogo soobshcheniya s uchetom urovnya obsluzhivaniya. Proektirovanie transportnykh sistem i Informatsiya. - 2017. - №17(1). - S. 171-175.
19. Syao Nin, Tszen Tszyan`chao. Algoritm programmirovaniya s ogranicheniem sluchaynykh shansov, osnovan-nyy na kombinatsii sluchaynogo modelirovaniya i algoritma PSO // Komp'yuternye prilozheniya i programmnoe obespechenie. - 2009. - №26(4).
20. Ceder A., Golany B., Tal O. Creating bus time tables with maximal synchronization // Transportation Research PartA: Policy and Practice. - 2001. - 35(10). - R. 913-928.

**Li Xiaokun**

Don State Technical University

Address: 344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin str., 1

Postgraduate student

E-mail: 729949756@qq.com

**Zyryanov Vladimir Vasilevich**

Don State Technical University

Address: 344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin str., 1

Doctor of technical sciences

E-mail: tolbaga@mail.ru

**Уважаемые авторы!**  
**Просим Вас ознакомиться с требованиями**  
**к оформлению научных статей.**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70%), не опубликованным ранее в других печатных изданиях.
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

**Введение**

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

**Материал и методы**

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылаетесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

**Теория / расчет**

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

**Результаты**

Результаты должны быть четкими и краткими.

**Обсуждение**

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

**Выводы**

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
  - применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
  - применять произвольные словообразования;
  - применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и сверху - 2 см.

**Обязательные элементы:**

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

- **аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

- **ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

- **список литературы** должен содержать не менее 20-ти источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

**ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ**

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строки, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:  
Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)  
Учреждение или организация  
Адрес  
Ученая степень, ученое звание, должность  
Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

### **ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ**

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

**Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

#### ***Пример оформления формулы в тексте***

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 \left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right) / d, \quad (1)$$

где  $\alpha = 1 + 2a/b$  - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$  - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

**Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате \*.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

#### ***Рисунок 1 - Текст подписи***

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

**Таблицы** должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

*Адрес издателя:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95  
Тел.: (4862) 75-13-18  
www.oreluniver.ru.  
E-mail: info@oreluniver.ru

*Адрес редакции:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77  
Тел.+7 905 856 6556  
www.oreluniver.ru.  
E-mail: srmostu@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании  
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,  
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 11.09.2023 г.  
Дата выхода в свет 28.09.2023 г.  
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,1  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 209

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95