

ISSN 2073-7432

**МИР ТРАНСПОРТА  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**№ 1-1 (80) 2023**

Научно-технический

журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 1-1(80) 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.

Заместитель главного редактора:  
Васильева В.В. к.т.н., доц.

Редакция:

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)  
Бондаренко Е.В. 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. к.т.н., 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: Акимочкина И.В.

Адрес редакции:

302030, Россия, Орловская обл., г. Орел,  
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-rf.ru](http://www.ppressa-rf.ru) и [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

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

## Содержание

### Эксплуатация, ремонт, восстановление

- А.Ю. Родичев, И.В. Родичева, М.А. Серебренникова, К.В. Васильев **Бесконтактный метод теплового контроля подшипниковых узлов скольжения** ..... 3  
В.В. Нечаев **Метод диагностирования автомобильной аккумуляторной батареи** ..... 12  
В.И. Сарбаев, А.Г. Гусев **Расчет показателей надежности заднего моста автобуса в условиях нечеткой формализации параметров отказов** ..... 19

### Технологические машины

- Д.А. Никитин **Разработка математической модели рабочего органа специального автомобиля** ..... 28

### Безопасность движения и автомобильные перевозки

- Е.В. Кириллова, Е.В. Бурдина **Анализ эффективности работы выделенных полос для общественного транспорта на основе GPS-трекеров бортового оборудования подвижного состава** ..... 34  
С.В. Жанказиев, М.Н. Вражнова, А.А. Пашкова **Концепция методики повышения безопасности дорожного движения за счет предоставления безопасного маршрута пользователям средств индивидуальной мобильности** ..... 43  
А.Н. Семкин, А.Н. Шевляков **Опыт внедрения систем координации движения общественного транспорта на примере Орловской городской агломерации** ..... 50  
С.В. Дорохин, А.Ю. Артемов **Развитие методов управления транспортными потоками в малых и средних городах** ..... 60  
С.Н. Глаголев, И.А. Новиков, Л.Е. Куценко, Л.А. Королева **Разработка математической модели управления движением транспортного потока** ..... 68  
С.В. Еремин, А.Н. Новиков, Л.Ю. Фроленкова, А.В. Кулев, М.В. Кулев **Совершенствование дорожного движения в городе Красноярске на основе интеллектуальных транспортных технологий** ..... 76  
Д.Г. Неволин, А.А. Цариков **Совершенствование методики расчета тактов и циклов светофорного регулирования с учетом организации отдельных полос для движения пассажирского транспорта** ..... 87  
В.В. Сиваков, К.С. Боровая, Е.А. Юрков **Совершенствование троллейбусных перевозок в г. Брянске (на примере маршрутов №91 и 9)** ..... 95

### Вопросы экологии

- И.П. Емельянов, И.О. Кирильчук, А.Н. Барков, К.А. Персидская **Использование интеллектуальных транспортных систем для повышения экологической безопасности автомобильного транспорта в Курской области** ..... 103

### Образование и кадры

- О.И. Максимычев, К.Н. Мезенцев, А.В. Волосова **Информационно-коммуникационные технологии и элементы искусственного интеллекта в интеллектуальных транспортных системах** ..... 112  
А.Г. Матвеев, Т.А. Менухова **Подход по учету параметров при применении методов выбора альтернатив в условиях неопределенности** ..... 119

### Экономика и управление

- Д.Б. Ефименко, В.А. Демин, Д.А. Комкова, В.Д. Герми **Мелкопартиционная доставка товаров при использовании мультиагентного подхода** ..... 125  
В.В. Васильева, О.А. Иванов **Особенности построения программы лояльности автомобильного бренда** ..... 132

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

# World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 1-1(80) 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>Associate Editor</i> <b>V.V. Vasileva</b> <i>Can. Eng.</i></p> <hr/> <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>E.V. Bondarenko</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. Martyuchenko</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. Yungmeyster</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>A. Szarata</b> <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i></p> <hr/> <p><i>Person in charge for publication:</i> <b>I.V. Akimochkina</b></p> <hr/> <p><i>Editorial Board Address:</i> 302030, Russia, 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> <hr/> <p>The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФС77-67027 of August 30 2016</p> <hr/> <p>Subscription index: <b>16376</b> in a union catalog «<b>The Press of Russia</b>» on sites <a href="http://www.pressa-rf.ru">www.pressa-rf.ru</a> и <a href="http://www.akc.ru">www.akc.ru</a></p> <hr/> <p>© Registration. Orel State University, 2023</p>	<h2>Contents</h2> <p><i>Operation, Repair, Restoration</i></p> <p><i>A.Yu. Rodichev, I.V. Rodicheva, M.A. Serebrennikova, K.V. Vasiliev</i> <b>Non-contact method of thermal control of sliding bearing units</b>..... 3</p> <p><i>V.V. Nechaev</i> <b>The method of diagnosing a car battery</b>..... 12</p> <p><i>V.I. Sarbaev, A.G. Gusev</i> <b>Calculation of reliability indicators of the rear axle of a bus under conditions of fuzzy formalization of failure parameters</b>..... 19</p> <p><i>Technological machines</i></p> <p><i>D.A. Nikitin</i> <b>Special vehicle functional part mathematical model development</b>..... 28</p> <p><i>Road safety and road transport</i></p> <p><i>E.V. Kirillova, E.V. Budrina</i> <b>Analysis of the efficiency of the operation of allocated lanes for public transport based on GPS-trackers of rolling stock on-board equipment</b>..... 34</p> <p><i>S.V. Zhankaziev, M.N. Vrazhnova, A.A. Pashkova</i> <b>The concept of a methodology to improve road safety by providing a safe route for users of personal transporters</b>.... 43</p> <p><i>A.N. Semkin, A.N. Shevlyakov</i> <b>Experience in the implementation of public transport coordination systems on the example of the Orel urban agglomeration</b> ..... 50</p> <p><i>S.V. Dorokhin, A.Y. Artemov</i> <b>Development of traffic management methods in small and medium cities</b>..... 60</p> <p><i>S.N. Glagolev, I.A. Novikov, L.E. Kushchenko, L.A. Koroleva</i> <b>The development of the traffic flow control mathematical model</b>..... 68</p> <p><i>S.V. Eremin, A.N. Novikov, L.Yu. Frolenkova, A.V. Kulev, M.V. Kulev</i> <b>Improvement of traffic in the city of Krasnoyarsk on the basis of intelligent transport technologies</b>.. 76</p> <p><i>D.G. Nevolin, A.A. Tsarikov</i> <b>Improving the methodology for calculating the cycles and cycles of traffic light regulation, taking into account the organization of separate lanes for passenger transport</b>..... 87</p> <p><i>V.V. Sivakov, K.S. Borovaya, E.A. Yurkov</i> <b>Improvement of trolleybus transportation in Bryansk (by the example of routes №91 and 9)</b> ..... 95</p> <p><i>Ecological Problems</i></p> <p><i>I.P. Emelyanov, I.O. Kirilchuk, A.N. Barkov, K.A. Persidskaya</i> <b>Use of intelligent transport systems to improve environmental safety of road transport in the Kursk region</b> ..... 103</p> <p><i>Education and Personnel</i></p> <p><i>O.I. Maksimychev, K.N. Mezentsev, A.V. Volosova</i> <b>Information and communication technologies and elements of artificial intelligence in intelligent transport systems</b>... 112</p> <p><i>A.G. Matveev, T.A. Menuhova</i> <b>Approach to accounting parameters, applying methods of choice for uncertain alternatives</b>..... 119</p> <p><i>Economics and Management</i></p> <p><i>D.B. Efimenko, V.A. Demin, D.A. Komkova, V.D. Gerami</i> <b>Small shipments delivery of goods using a multi-agent approach</b>..... 125</p> <p><i>V.V. Vasilyeva, O.A. Ivanov</i> <b>Designing the automotive brand's loyalty program</b>..... 132</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 629.08

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-3-11

А.Ю. РОДИЧЕВ, И.В. РОДИЧЕВА, М.А. СЕРЕБРЕННИКОВА, К.В. ВАСИЛЬЕВ

## **БЕСКОНТАКТНЫЙ МЕТОД ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ СКОЛЬЖЕНИЯ**

***Аннотация.** Рассмотрены методы диагностики подшипниковых узлов скольжения и способов их осуществления. На основе полученной информации был проведен эксперимент по диагностике подшипникового узла скольжения при помощи бесконтактного метода теплового контроля с последующей обработкой полученных данных при помощи свёрточных нейронных сетей ResNet. В процессе проведения непрерывного эксперимента было выделено четыре различных состояния подшипникового узла скольжения на основе изображений термограмм. На основе полученных данных была обучена свёрточная нейронная сеть, с последующим решением задачи классификации дефектов по данным изображений термограмм.*

***Ключевые слова:** подшипниковый узел скольжения, диагностика, дефекты, искусственная нейронная сеть (ИНС), свёрточная нейронная сеть (СНС)*

### **Введение**

В современной технике достаточно широкое распространение получили подшипниковые узлы скольжения, их можно встретить в конструкции паровых турбин, двигателях внутреннего сгорания, турбинах, турбокомпрессорах, мощных электродвигателях и т.д. В двигателе внутреннего сгорания подшипник скольжения является одной из ответственных деталей, повреждение которой приводит к выходу из строя всего агрегата [1, 2]. Одной из причин выхода из строя подшипникового узла является износ рабочей поверхности подшипника скольжения. Надежность двигателя внутреннего сгорания в большей степени зависит от состояния подшипниковых узлов скольжения.

Экспериментальные данные по числу отказов двигателей внутреннего сгорания достаточно разнообразны. В одном из источников [3] было указано, что анализ дефектов, произошедших в двигателях внутреннего сгорания в течение первого одного года эксплуатации, показал, что число дефектов приходящиеся на подшипники скольжения в процентном соотношении составляет 7 % от общего числа дефектов. В другом источнике [4] указано, что при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в течение двух лет, 12 % всех дефектов приходится на подшипники скольжения двигателя. Третий источник [5] показал, что дефекты на подшипниках скольжения лидируют по количеству отказов двигателя и составляют 24,4 % всех дефектов (рис. 1).

Диагностика состояния двигателя внутреннего сгорания является неотъемлемой частью его технического обслуживания в течение всего срока эксплуатации [6-8]. В настоящее время разработано много современных способов и методов, основанных на виброакустических сигналах и бесконтактных методах теплового контроля состояния двигателей внутреннего сгорания, в частности состояния подшипниковых узлов скольжения [9- 11]. Своевременное обнаружение возникшего дефекта на ранней стадии позволяет избежать аварийной ситуации, а как следствие этого безвозвратной потери дорогостоящего агрегата в результате выхода из строя ответственных узлов [12-17]. На данный момент очень важно не только обнаружить возникающий дефект в процессе эксплуатации узла или агрегата, но и научиться его своевременно предсказать, что значительно снизит аварийность и как следствие трудоемкость ремонта сложного технологического оборудования. Наиболее распространённым методом диагностики текущего состояния подшипниковых узлов и агрегатов является их мониторинг на основе анализа данных измерений вибрации.

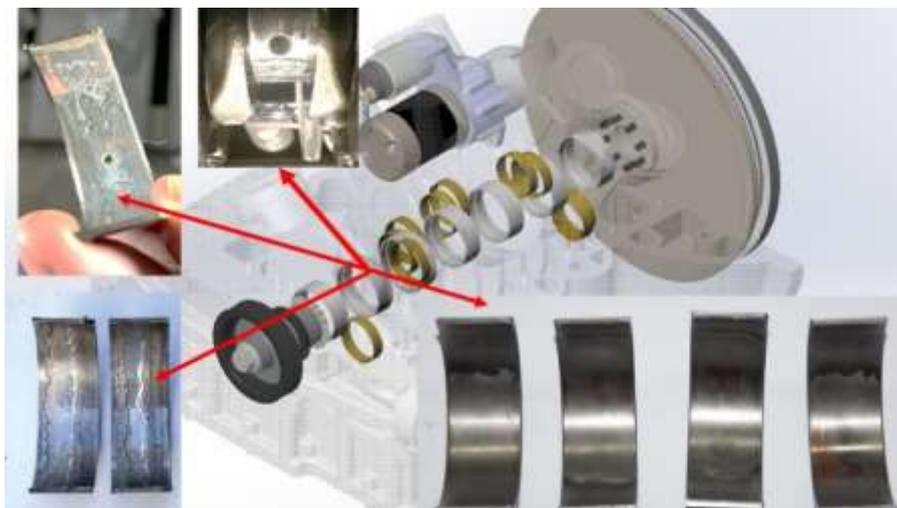


Рисунок 1 – Дефекты подшипников скольжения в ДВС

Такие исследования хорошо известны [18, 19], так как вибрационные сигналы хорошо отражают динамическое поведение роторной системы. Еще один перспективный метод отслеживания состояния подшипникового узла и, в частности, состояния подшипника скольжения, который заслуживает особого внимания, это инфракрасная фотограмметрия. Данный метод заключается в отслеживании состояния подшипникового узла скольжения при помощи изображений термограмм, так как повышение или падения температуры от своего установленного значения напрямую связано с возникновением дефекта или неисправности [20, 21]. Конструкция экспериментальных установок, суть метода и подход к его исполнению остается практически неизменным от исследования к исследованию. Используемое оборудование отличается незначительно и, вероятно, зависит от состояния материально-технической базы исследователей. Основные отличия, предлагаемые авторами каждого исследования, относятся к алгоритмам выделения признаков из полученных изображений термограмм [22, 23]. В частности, предложено несколько разновидностей применения сверточных нейронных сетей как наиболее эффективного метода обработки данных. Всеми исследователями отмечено, что наиболее популярный и подробно описанный в научной литературе метод диагностики неисправностей машин и технологического оборудования – вибрационный, обладающий гораздо меньшей точностью по сравнению с предложенными методами диагностики с использованием инфракрасной фотограмметрии. Использование вибрационного метода связано с некоторыми трудностями: это установка определенных датчиков и постобработка полученного сигнала (избавление от шума). То же самое можно сказать и о частотном методе диагностики. Точность предложенных методов с применением сверточных нейронных сетей близка к 100 %, в отличие от вибрационного метода (~80 % в зависимости от условий) [24-26].

### **Теория**

Для исследования возможности предиктивной диагностики подшипниковых узлов скольжения, с использованием измерительной системы «тепловизор – изображения термограммы – искусственная нейронная сеть», и своевременного устранения неисправностей, возникающих в процессе работы подшипниковых узлов, был проведен эксперимент, состоявший из серии последовательных опытов. Задачей эксперимента являлось выявление изменений, происходящих в подшипниковом узле, в течение времени, на основе показаний инфракрасной фотограмметрии состояния подшипникового узла скольжения, в нашем случае, с использованием тепловизора.

Для проведения данного эксперимента была разработана экспериментальная установка (рис. 2). Экспериментальная установка имеет в своем составе станину, на которой установлен двигатель, ротор, опирающийся на подшипники скольжения, соединяющийся с валом двигателя при помощи гибкой кулачковой муфты с упругими элементами. Подшипники скольжения установлены в подшипниковых узлах (опорах), в которые по гидравлическим гибким трактам

подается смазочный материал в их емкости, закрепленных на стойке. Гидравлические тракты вместе с емкостями для смазочного материала образуют систему смазки данной установки. На роторе с целью увеличения его инерционной массы зафиксированы два диска. В процессе проведения эксперимента к установке были подключены две независимые контрольно-измерительные системы, которые диагностировали работу подшипникового узла.

В состав первой контрольно-измерительной системы входили: датчики температуры и датчики износа рабочей поверхности подшипникового узла, при этом данные датчики были встроены в конструкцию подшипникового узла. Для определения частоты вращения в измерительную систему был включен датчик частоты вращения.

Для получения показаний, со всех встроенных в подшипниковый узел скольжения датчиков, использовался микрокомпьютер Raspberry Pi 3 Model B+, для обработки показаний с датчиков была разработана программа мониторинга состояния подшипника скольжения в реальном времени.

В состав второй контрольно-измерительной системы входит тепловизор UNI-T UTi260V с подключенным к нему персональным компьютером. Обе контрольно-измерительные системы работали параллельно, не одна из них не исключала другую.

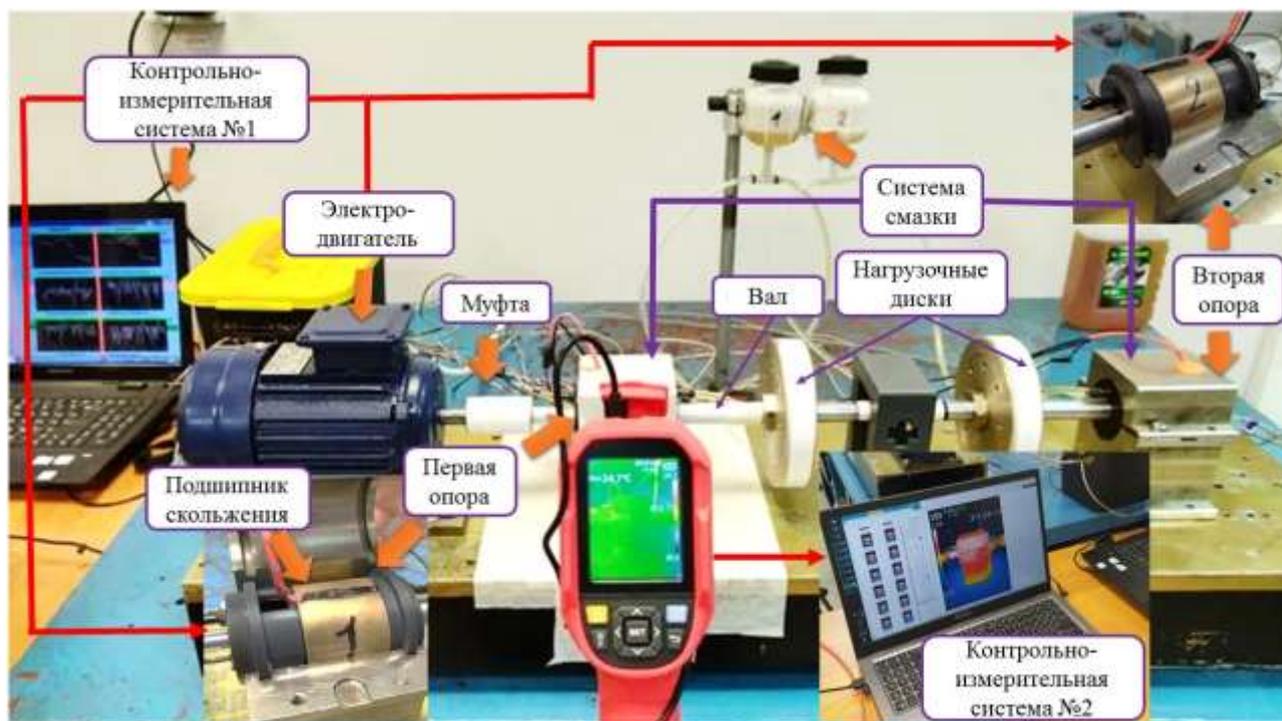


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема экспериментальной установки

Эксперимент проводился в течение 30 часов, которые были разбиты на временные отрезки, по два часа (опыты). В течение этого времени производился сбор данных со всех датчиков первой измерительной системы, при этом второй измерительной системой «тепловизор – персональный компьютер» было сделано 108000 изображений термограмм. Состояние подшипникового узла скольжения и, в частности, рабочей поверхности подшипника скольжения контролировалось с помощью измерительных систем, а также визуальным способом, путем разбора и осмотра подшипникового узла скольжения. В процессе проведения эксперимента возникли несколько дефектов, а именно: износ рабочей поверхности подшипника скольжения и повреждение уплотнения (манжеты) подшипникового узла.

Повреждение уплотнения (манжеты) сразу же было определено визуальным способом (вытекание смазочного материала из подшипникового узла скольжения), параллельно с этим были зафиксированы показания датчиков измерительной системы и получены изображения-термограммы данного подшипникового узла.

Износ рабочей поверхности подшипника скольжения был установлен с помощью датчиков измерительной системы (увеличение температуры смазочного материала и антифрикционного слоя). Изменение температуры также было зарегистрировано тепловизором. В процессе проведения эксперимента по полученным данным измерительной системы была обнаружена неисправность датчика температуры поверхностного слоя. Состояние подшипникового узла скольжения с этой неисправностью также было зафиксировано тепловизором, с помощью изображений термограмм.

### Результаты и обсуждение

Для обработки полученных данных с тепловизора, в виде изображений термограмм с помощью нейронной сети было выделено 28 800 изображений, которые разделили на четыре группы (рис. 3) по 7200 изображений в каждой:

- 1) повреждение рабочей поверхности подшипника скольжения;
- 2) повреждение уплотнения (манжеты) в подшипниковом узле;
- 3) повреждение датчика температуры;
- 4) отсутствие дефектов.

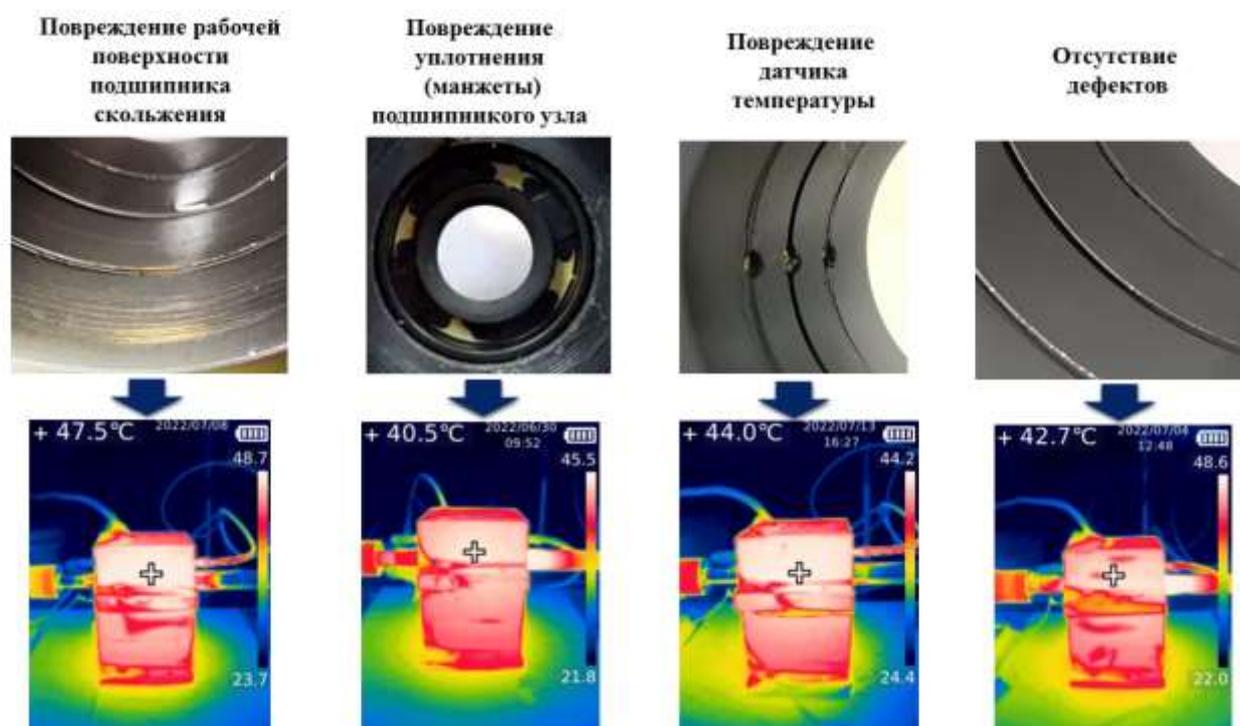


Рисунок 3 – Изображения термограммы подшипникового узла скольжения

Началом решения задачи, связанной с обучением нейронной сети, является создание баз данных изображений термограмм, которые разделяются на два блока: учебный (training) и тестовый (test). В каждом блоке имеются изображения термограмм четырех состояний системы. Для решения задачи классификации дефектов рассмотрим два способа обучения нейронной сети, условно назвав их способ «случайного разбиения» и способ «последовательного разбиения». Классификация нейронной сети способом «случайного разбиения», заключается в распределении изображения термограмм по вышеописанным классам, путём обучения сети и проверки на тестовой выборке, где полученные в ходе эксперимента изображения термограмм делятся в случайном порядке на две выборки – учебную (training) и тестовую (test), в отношении 70 % и 30 % соответственно для каждого из четырех состояний системы. Классификация нейронной сети способом «последовательного разбиения» заключается в распределении изображений термограмм: где 70 % - приходится на начальную стадию эксперимента, 30 % - на завершающую стадию эксперимента, для каждого из четырех состояний системы.

При решении двух задач использовался метод обучения с учителем, который позволил обучить модель путем определения взаимосвязи между множеством входных данных  $X=(x^{(1)}, \dots, x^{(N)})$  и целевым набором классов  $Y=(y^{(1)}, \dots, y^{(N)})$  посредством нахождения весовых коэффициентов  $\Theta$ , где  $N$  – количество примеров. Каждый пример подавался на вход ИНС, затем выполнялся прямой проход ИНС для получения предсказания, которое сравнивалось с целевым значением путем расчета функции потерь. Для задачи классификации применялась функция потерь Cross entropy loss:

$$L(\Theta) = - \sum_{c=1}^C (y_c \ln(h_c)) \Rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C$  – количество классов;

$h$  – предсказания ИНС.

Предсказания ИНС представляют собой вектор вероятностей для каждого класса, сумма которых равна единице. Предсказанный класс определялся по максимальным значениям предсказаний вероятности. Для получения выходных значений ИНС применялась функция SoftMax:

$$h(x_i) = \frac{e^{x_i}}{\sum_{c=1}^C e^{x_c}}. \quad (2)$$

Далее выполнялся обратный проход ИНС для минимизации функции потерь методами градиентного спуска путем изменения весовых коэффициентов. За одну эпоху обучающая выборка случайным образом разбивалась на пакеты определенного размера (батчи), которые последовательно подавались на вход ИНС. Далее рассчитывалась функция потерь, и выполнялся один шаг градиентного спуска. Обучение продолжалось до тех пор, пока ошибка по всему обучающему массиву не достигала приемлемо низкого уровня. При большом количестве эпох происходило переобучение.

В данной работе применялись сверточные нейронные сети (СНС). Они сжимали данные интенсивности пикселей и выделяли важные функции. Операция свертки представляла собой полное скалярное произведение фрагментов входного изображения и соответствующего ядра. Компоненты ядра входили в набор сетевых параметров  $\Theta$  и их значения определялись в процессе обучения. Сверточные слои используют заполнение нулями (padding) для управления размером вывода и шага (stride) для уменьшения размерности данных. Количество ядер в сверточном слое определило количество выходных каналов. После операции свертки также применялись слои пакетной нормализации и функции активации. Наиболее популярной функцией активации является функция ReLU.

$$h(x) = \begin{cases} x, & \text{if } x \geq 0 \\ 0, & \text{if } x < 0 \end{cases}. \quad (3)$$

Одной из известных архитектур СНС является ResNet. Их особенностью является применение соединений быстрого доступа, которая позволяет стабилизировать обучение СНС при увеличении их глубины. Эти соединения пропускают несколько слоев СНС и выполняют суммирование выходов. Для дополнительного сравнения обучение полученных изображений термограмм производилось при помощи двух нейронных сетей: resNet 18 и resNet 34 двумя способами. Итогом обучения стало обученная модель нейронной сети.

После стадии обучения была проведена проверка обученной модели на изображения тестовой выборки, что позволило проверить сеть на тех изображениях, которые не видела нейронная сеть. По результатам данного обучения были получены матрицы ошибок нейронных сетей resNet 18 и resNet 32 (рис. 4).

Для оценки точности искусственных нейронных сетей применялась метрика «ассигасу», которая представляет собой долю правильных предсказаний из общего числа предсказаний. Для resNet 18 метрика «ассигасу» составила 67,5 %, а для resNet 34 метрика «ассигасу» составила 59,2 %.

Матрицы ошибок нейронных сетей resNet 18 и нейронных сетей resNet 32 при решении задачи классификации по способу «последовательного разбиения» представлена на рисунке 5.

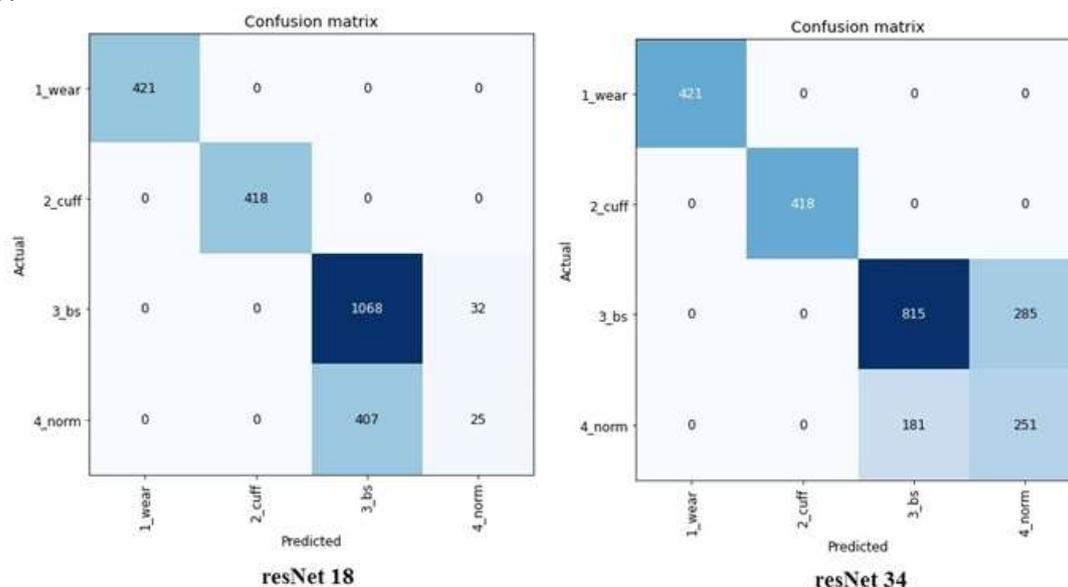


Рисунок 4 – Матрицы ошибок «случайное разбиение»

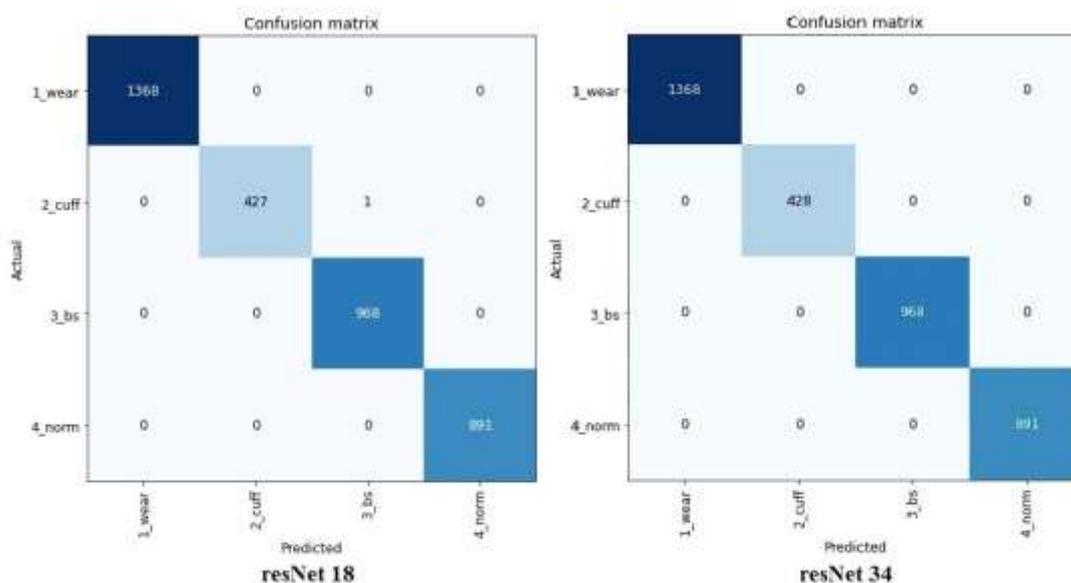


Рисунок 5 – Матрицы ошибок «последовательное разбиение»

Точность нейронных сетей при решении задачи классификации по способу «последовательного разбиения»: для resNet 18 метрика «ассурасу» составила 54,6 %, а для resNet 34 метрика «ассурасу» составила 52,9 %.

**Выводы**

На основе полученных результатов длительного эксперимента, разбитого на серию опытов был подготовлен набор данных теплового состояния подшипникового узла скольжения, в ходе которого было выделено четыре различных его состояния:

- 1) оптимальная работа подшипникового узла скольжения (отсутствие дефектов);
- 2) повреждение измерительной системы в процессе эксплуатации (повреждение датчика температуры);
- 3) повреждения уплотнения (манжеты) в подшипниковом узле скольжения;
- 4) повреждение рабочей поверхности подшипника скольжения.

На основе методов машинного обучения были подготовлены образцы нейронных сетей, которые показали относительно высокую точность определения дефектного состояния рассматриваемой системы. Лучшие результаты были получены при обучении СНС ResNet18. Точность тестирования при случайном способе разбиения данных составила 67,5 %, а при последовательном – 54,6 %.

На основе проведённых исследований можно сделать вывод о перспективном применении диагностики состояния подшипниковых узлов скольжения с помощью измерительной системы «тепловизор – изображения термограммы – искусственная нейронная сеть».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурковская Н.П., Севостьянов Н.В., Болсуновская Т.А., Ефимочкин И.Ю. Совершенствование материалов для подшипников скольжения двигателей внутреннего сгорания (обзор) // Труды ВИАМ. – 2020. – №1(85). – С. 78-91. – DOI 10.18577/2307-6046-2020-0-1-78-91.
2. Павлов А.П., Шапошников И.А. Исследование возможности использования композитных материалов при производстве подшипников скольжения // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2018. – №1(15). – С. 3.
3. Collacott R.A. Mechanical fault diagnosis and condition monitoring. - London: Chapman and Hall, 1977.
4. Allianz. Handbook of loss prevention. - Berlin: Springer, 1978.
5. Bloch H.P., Gettner F.K. Practical machinery management for process plants. – Vol. 2: Machinery failure-analysis and troubleshooting. - Third edition, Houston: Gulf Publishing Company, 1999.
6. Колпаков В.Е., Тишкин Л.В. Диагностика автотракторных двигателей с использованием инфракрасной термографии // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012. – №26. – С. 369-372.
7. Колпаков В.Е. Бесконтактный метод теплового контроля автотракторных двигателей // Транспортное дело России. – 2015. – №4. – С. 130-131.
8. Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля: Справочник. – М.: Машиностроение, 1991. – 264 с.
9. Панков Е.А., Чайка Н.Ф. Применение инфракрасной спектроскопии для диагностики авиационных двигателей // 2017. – Т. 1. – С. 12-16.
10. Панков Е.А., Чайка Н.Ф. Возможности спектральных методов для диагностики авиационных двигателей // Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке»: Сб. материалов XII Междунар. науч. конгр. «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016». – Новосибирск: СГУГиТ, 2016. – С. 8-13.
11. Устинов М.А. Обзор существующих методов диагностирования электродвигателей // Форум молодых ученых. – 2020. – №5(45). – С. 481-486.
12. Feng Z, Liang M, Chu F. Recent advances in time-frequency analysis methods for machinery fault diagnosis: a review with application examples. - Mech Syst Signal Process. – 2013. - №38(1). – P. 165-205.
13. Li Y., Wang X., Si S., Huang S. Entropy based fault classification using the case western reserve university data: a benchmark study [Электронный ресурс] / IEEE Trans Reliab. - 2019. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1109/TR.2019.2896240>.
15. Wang Z., Du W., Wang J., Zhou J., Han X., Zhang Z. et al. Research and application of improved adaptive mameda fault diagnosis method // Measurement. – 2019. - №140. – P. 63-75.
16. Wang Z., He W., Du W., Zhou J., Han X., Wang J. et al. Application of parameter optimized variational mode decomposition method in fault diagnosis of gearbox // IEEE Access. – 2019. - №7. – P. 71-82.
17. Li Y., Wang X., Liu Z., Liang X., Si S. The entropy algorithm and its variants in the fault diagnosis of rotating machinery: a review // IEEE Access. – 2018. - №6:667. – P. 23-41.
18. Zhang C., Harne R.L., Li B., Wang K. Statistical quantification of dc power generated by bistable piezoelectric energy harvesters when driven by random excitations // J Sound Vib. – 2019. - №442:7. – P. 70-86.
19. Zhang C., Liu Y., Wan F., Chen B., Liu J., Hu B. Multi-faults diagnosis of rolling bearings via adaptive customization of flexible analytical wavelet bases [Электронный ресурс] / Chinese J Aeronautics. - 2019. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.03.014>.
20. Li Y., Li G., Yang Y., Liang X., Xu M. A fault diagnosis scheme for planetary gearboxes using adaptive multiscale morphology filter and modified hierarchical permutation entropy // Mech Syst Signal Process. - 2018. - №105:3. – P. 19-37.
21. Zhao M., Lin J. Health assessment of rotating machinery using a rotary encoder // IEEE Trans Ind Electron. – 2017. - №65(3):25. – P. 48-56.
22. Yongbo L.I., Xiaoqiang D.U., Fangyi W.A.N., Xianzhi W.A.N.G., Huangchao Y.U. Rotating machinery fault diagnosis based on convolutional neural network and infrared thermal imaging // Chinese journal of aeronautics. - 2020. - 33(2). – P. 427-438.
23. Choudhary A., Mian T., Fatima S., 2021. Convolutional neural network based bearing fault diagnosis of rotating machine using thermal images // Measurement. - №176. - P.109196.

24. Shao H., Xia M., Han G., Zhang Y., Wan J. Intelligent fault diagnosis of rotor-bearing system under varying working conditions with modified transfer convolutional neural network and thermal images // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2020. - №17(5). - P. 3488-3496.

25. Shao H., Li W., Xia M., Zhang Y., Shen C., Williams D., Kennedy A., de Silva C.W. Fault diagnosis of a rotorbearing system under variable rotating speeds using twostage parameter transfer and infrared thermal images // IEEE Transactions on instrumentation and measurement. - 2021. - №70. - P. 1-11.

26. Jia Z., Liu Z., Vong C.M., Pecht M. A rotating machinery fault diagnosis method based on feature learning of thermal images // Journal №2(5). – 2016. – P. 99-110.

**Родичев Алексей Юрьевич**

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

**Серебренникова Мария Андреевна**

Орловский государственный университет  
имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
Аспирант  
E-mail: tokmakova2303@gmail.com

**Родичева Ирина Владимировна**

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

**Васильев Кирилл Владимирович**

Орловский государственный университет  
имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, г. Орёл, ул. Московская, 77  
Студент  
E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

---

A.Yu. RODICHEV, I.V. RODICHEVA, M.A. SEREBRENNIKOVA, K.V. VASILIEV

## NON-CONTACT METHOD OF THERMAL CONTROL OF SLIDING BEARING UNITS

***Abstract.** The article considered methods for diagnosing bearing sliding units and methods for their implementation. Based on the information received, an experiment was carried out to diagnose a sliding bearing unit using a non-contact method of thermal control, followed by processing the data obtained using ResNet convolutional neural networks. In the process of conducting a continuous experiment, four different states of the sliding bearing unit were identified based on the images of thermograms. On the basis of the obtained data, a convolutional neural network was trained with the subsequent solution of the problem of classifying defects according to the image data of thermograms.*

***Keywords:** sliding bearing unit, diagnostics, defects, artificial neural network (ANN), high-precision neural network (SNN)*

### BIBLIOGRAPHY

1. Burkovskaya N.P., Sevost'yanov N.V., Bolsunovskaya T.A., Efimochkin I.Yu. Sovershenstvovanie materialov dlya podshipnikov skol'zheniya dvigateley vnutrennego sgoraniya (obzor) // Trudy VIAM. - 2020. - №1(85). - S. 78-91. - DOI 10.18577/2307-6046-2020-0-1-78-91.
2. Pavlov A.P., Shaposhnikov I.A. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya kompozitnykh materialov pri proizvodstve podshipnikov skol'zheniya // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. - 2018. - №1(15). - S. 3.
3. Collacott R.A. Mechanical fault diagnosis and condition monitoring. - London: Chapman and Hall, 1977.
4. Allianz. Handbook of loss prevention. - Berlin: Springer, 1978.
5. Bloch H.P., Gettner F.K. Practical machinery management for process plants. - Vol. 2: Machinery failure-analysis and troubleshooting. - Third edition, Houston: Gulf Publishing Company, 1999.
6. Kolpakov V.E., Tishkin L.V. Diagnostika avtotraktornykh dvigateley s ispol'zovaniem infrakrasnoy termografii // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2012. - №26. - S. 369-372.
7. Kolpakov V.E. Beskontaktnyy metod teplovogo kontrolya avtotraktornykh dvigateley // Transportnoe delo Rossii. - 2015. - №4. - S. 130-131.
8. Vavilov V.P. Teplovye metody nerazrushayushchego kontrolya: Spravochnik. - M.: Mashinostroenie, 1991. - 264 s.
9. Pankov E.A., Chayka N.F. Primenenie infrakrasnoy spektroskopii dlya diagnostiki aviatsionnykh dvigateley // 2017. - T. 1. - S. 12-16.
10. Pankov E.A., Chayka N.F. Vozmozhnosti spektral'nykh metodov dlya diagnostiki aviatsionnykh dvigateley // Magisterskaya nauchnaya sessiya «Pervye shagi v nauke»: Sb. materialov XII Mezhdunar. nauch. kongr. «Interekspo GEO-Sibir`-2016». - Novosibirsk: SGUGiT, 2016. - S. 8-13.

11. Ustinov M.A. Obzor sushchestvuyushchikh metodov diagnostirovaniya elektrodvigateley // Forum molodykh uchenykh. - 2020. - №5(45). - S. 481-486.
12. Feng Z, Liang M, Chu F. Recent advances in time-frequency analysis methods for machinery fault diagnosis: a review with application examples. - Mech Syst Signal Process. - 2013. - №38(1). - R. 165-205.
13. Li Y., Wang X., Si S., Huang S. Entropy based fault classification using the case western reserve university data: a benchmark study [Elektronnyy resurs] / IEEE Trans Reliab. - 2019. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1109/TR.2019.2896240>.
15. Wang Z., Du W., Wang J., Zhou J., Han X., Zhang Z. et al. Research and application of improved adaptive mameda fault diagnosis method // Measurement. - 2019. - №140. - R. 63-75.
16. Wang Z., He W., Du W., Zhou J., Han X., Wang J. et al. Application of parameter optimized variational mode decomposition method in fault diagnosis of gearbox // IEEE Access. - 2019. - №7. - R. 71-82.
17. Li Y., Wang X., Liu Z., Liang X., Si S. The entropy algorithm and its variants in the fault diagnosis of rotating machinery: a review // IEEE Access. - 2018. - №6:667. - R. 23-41.
18. Zhang C., Harne R.L., Li B., Wang K. Statistical quantification of dc power generated by bistable piezoelectric energy harvesters when driven by random excitations // J Sound Vib. - 2019. - №442:7. - R. 70-86.
19. Zhang C., Liu Y., Wan F., Chen B., Liu J., Hu B. Multi-faults diagnosis of rolling bearings via adaptive cus-tomization of flexible analytical wavelet bases [Elektronnyy resurs] / Chinese J Aeronautics. - 2019. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.03.014>.
20. Li Y., Li G., Yang Y., Liang X., Xu M. A fault diagnosis scheme for planetary gearboxes using adaptive multiscale morphology filter and modified hierarchical permutation entropy // Mech Syst Signal Process. - 2018. - №105:3. - R. 19-37.
21. Zhao M., Lin J. Health assessment of rotating machinery using a rotary encoder // IEEE Trans Ind Electron. - 2017. - №65(3):25. - R. 48-56.
22. Yongbo L.I., Xiaoqiang D.U., Fangyi W.A.N., Xianzhi W.A.N.G., Huangchao Y.U. Rotating machinery fault diagnosis based on convolutional neural network and infrared thermal imaging // Chinese journal of aeronautics. - 2020. - 33(2). - R. 427-438.
23. Choudhary A., Mian T., Fatima S., 2021. Convolutional neural network based bearing fault diagnosis of rotating machine using thermal images // Measurement. - №176. - P.109196.
24. Shao H., Xia M., Han G., Zhang Y., Wan J. Intelligent fault diagnosis of rotor-bearing system under varying working conditions with modified transfer convolutional neural network and thermal images // IEEE Transactions on Industrial Informatics. - 2020. - №17(5). - R. 3488-3496.
25. Shao H., Li W., Xia M., Zhang Y., Shen C., Williams D., Kennedy A., de Silva C.W. Fault diagnosis of a rotor-bearing system under variable rotating speeds using twostage parameter transfer and infrared thermal images // IEEE Transactions on instrumentation and measurement. - 2021. - №70. - R. 1-11.
26. Jia Z., Liu Z., Vong C.M., Pecht M. A rotating machinery fault diagnosis method based on feature learning of thermal images // Journal №2(5). - 2016. - R. 99-110.

**Rodichev Alekse Yrievich**

Orel State University  
Adress: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77  
Candidate of technical sciences  
E-mail: rodfox@yandex.ru

**Rodicheva Irina Vladimirovna**

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

**Serebrennikova Maria Andreevna**

Orel State University  
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Postgraduate student  
E-mail: tokmakova2303@gmail.com

**Vasiliev Kirill Vladimirovich**

Orel State University  
Adress: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77  
Student  
E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

Научная статья

УДК 621.355.2

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-12-18

В.В. НЕЧАЕВ

## МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

**Аннотация.** Представлен метод, позволяющий в кратчайшие сроки, с незначительными трудовыми затратами и с достоверной точностью определить техническое состояние аккумуляторной батареи, обеспечивающий повышение оперативности и обоснованности принимаемых решений по её дальнейшему применению, способствующий гарантированному пуску двигателя и безаварийной эксплуатации автомобиля.

**Ключевые слова:** аккумуляторная батарея, система электрооборудования, система электроснабжения, ток короткого замыкания, внутреннее сопротивление, техническое диагностирование, вольт-амперная характеристика

### Введение

Система электрооборудования современного автомобиля представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных электронных и электротехнических систем, состоящих из устройств и приборов, интегрировавших в себя новейшие достижения научно-технического прогресса, обладающих функциональным разнообразием, схемотехнической и конструктивной сложностью. Совокупность этих систем обеспечивает надежное функционирование двигателя, трансмиссии и ходовой части, безопасность движения и комфортные условия для водителя и пассажиров [1]. Система электрооборудования постоянно прогрессирует. Конструкция, номенклатура и число изделий, а также выполняемые ими функции расширяются. На смену устаревшим элементам приходят новые, более сложные по конструкции и схемным решениям изделия, которые требуют грамотного обращения в процессе эксплуатации, технического обслуживания и диагностирования.

Система электроснабжения является составной частью системы электрооборудования, состоит из устройств, выполняющих функции производства энергии необходимого качества, хранения, распределения и передачи её потребителям. Все остальные устройства системы электрооборудования выступают в роли приемников электрической энергии, которые, в зависимости от режима работы двигателя, питаются от генераторной установки или аккумуляторной батареи. Аккумуляторная батарея обеспечивает электроснабжение всех потребителей электроэнергии на автомобиле при неработающем генераторе или при выработке им недостаточной мощности. Только с её помощью можно дать импульс остальным устройствам системы электрооборудования для их последующего использования по назначению [2-4].

Аккумуляторные батареи, устанавливаемые на автомобильной технике, эксплуатируются в сложных условиях. Это, прежде всего, работа в широком диапазоне температур, подверженность тряске и вибрации, обеспечение высоких значений пускового тока при малом падении напряжения. Основным требованием, предъявляемым к аккумуляторной батарее, является гарантированное снабжение электродвигателя стартера током, достаточным для пуска двигателя внутреннего сгорания. В начальный момент вращения коленчатого вала двигателя значение силы пускового тока может существенно превышать тысячу ампер. Такие токи способны отдавать лишь источники электрической энергии с малым (миллиомы) внутренним сопротивлением.

Аккумуляторную батарею характеризуют: электродвижущая сила, емкость, напряжение, допустимый ток заряда и разряда, диапазон рабочих температур, вольт-амперная характеристика, ток короткого замыкания, внутреннее сопротивление, коэффициент полезного действия, размеры и срок эксплуатации. Технические характеристики современных аккумуляторных батарей постоянно совершенствуются. Каждое новое поколение обладает большей энергоемкостью, увеличивается срок службы, уменьшаются габариты, снижается трудоемкость работ по техническому обслуживанию, но общий принцип работы остаётся прежним и основан на преобразовании химических реакций в электрическую энергию [5].

Быстрая активная автомобилизация общества, цивилизации, планеты и возрастающие требования, предъявляемые к комфортабельности и безопасности движения, привели к необходимости разработки и широкого внедрения методов исследования технического состояния приборов системы электрооборудования автомобиля. Не следует предполагать, что использование новых методов вызовет переворот в системе технического обслуживания и ремонта, однако, имеется большое количество доводов и суждений в пользу их применения, так как это позволит существенно сократить сроки времени на поиск, локализацию и устранение различного рода отказов, существенно снизит трудовые и материальные затраты [6].

Основными требованиями, предъявляемыми к прогрессивным методам диагностирования, являются [7]:

- 1) высокая достоверность результатов диагностирования;
- 2) возможность контроля качества продукции по большинству заданных параметров;
- 3) при диагностировании не должно происходить разрушение изделия или снижение его качества;
- 4) возможность осуществления эффективного контроля на различных стадиях изготовления, в эксплуатации и при ремонте изделия;
- 5) согласованность времени, затрачиваемого на контроль со временем другого технологического этапа;
- 6) простота выполняемых работ, доступность технических средств к объектам диагностирования.

Своевременное и достоверное определение технического состояния аккумуляторной батареи позволяет повысить оперативность и обоснованность принимаемых решений по дальнейшему её использованию, способствует обеспечению гарантированного пуска двигателя и безаварийной эксплуатации автомобильного транспорта. Целью разработанного метода является получение в кратчайшие сроки достоверной информации, всесторонне характеризующей техническое состояние аккумуляторной батареи по результатам комплексной оценки её параметров.

#### ***Материал и методы***

Любой технически сложный объект, к которым, несомненно, относится аккумуляторная батарея автомобиля, до проведения диагностирования характеризуется некоторой степенью неопределенности состояния. По своей сущности целью диагностирования является устранение данной неопределенности. Другими словами, цель диагностирования - определить на заданном уровне истинное состояние объекта [8-16].

Под диагностической моделью принято понимать формализованное описание объекта, в данном случае аккумуляторной батареи, необходимое для решения задач диагностирования. Описание может быть выполнено в виде формальных зависимостей между возможными воздействиями на объект и его реакциями на эти воздействия [17-18].

Задача технического диагностирования формулируется, как задача определения диагностических параметров, позволяющих установить техническое состояние объекта.

#### ***Теория / Расчет***

Одним из диагностических параметров аккумуляторной батареи, при определении её технического состояния, является ЭДС. Для определения ЭДС аккумуляторной батареи, состоящей из последовательно соединенных аккумуляторов, используют выражение [2]:

$$E_{\Sigma} = nE, \quad (1)$$

где  $n$  – количество аккумуляторов, шт.;

$E$  – ЭДС одного аккумулятора, В.

ЭДС аккумулятора компенсирует падение напряжения на внешней цепи и падение напряжения внутри самого аккумулятора на его полном внутреннем сопротивлении. В замкнутой электрической цепи постоянного тока, когда к аккумуляторной батарее подключены потребители, связь между ЭДС, проходящим по цепи током и сопротивлением цепи можно установить, используя выражение:

$$E = Ir_{\Sigma} + IR, \quad (2)$$

где  $I$  – сила тока в замкнутой электрической цепи, А;

$r_6$  – активное сопротивление внешней цепи, Ом;

$R$  – полное внутреннее сопротивление, Ом.

Явление резкого увеличения значения электрического тока в цепи вследствие уменьшения внешнего сопротивления до нуля принято называть коротким замыканием. При этом образуется ток, значение которого на порядок превышает предусмотренные нормальными условиями работы. Аккумуляторные батареи, полностью заряженные, но имеющие аккумуляторы с коротким замыканием, после отключения от зарядного тока сравнительно быстро теряют емкость. В зависимости от величины тока короткого замыкания аккумуляторной батареи уже через непродолжительное время после окончания заряда пуск двигателя с её использованием становится невозможным. Значение тока короткого замыкания  $I_{кз}$  можно определить, применив общеизвестную формулу:

$$I_{кз} = \frac{E_6}{R}. \quad (3)$$

Любой источник тока, в том числе и аккумуляторная батарея, имеет внутреннее сопротивление, которое противодействует прохождению зарядного или разрядного тока. Внутреннее сопротивление непостоянно и характеризует тепловые потери. Влияет на энергетические характеристики аккумуляторной батареи и, в основном, зависит от изменения степени заряженности, плотности электролита и температуры. При разряде аккумулятора сопротивление электродов и электролита возрастает, так как сульфат свинца, образующийся при разряде, практически является изолятором. С понижением температуры вязкость электролита, и, следовательно, его сопротивление возрастают. Своевременно контролируя и зная величину внутреннего сопротивления можно дать оценку её техническому состоянию. Имея информацию о внутреннем сопротивлении можно вовремя распознать изменения, происходящие внутри аккумуляторной батареи, при наличии неисправности установить причину её возникновения и выполнить оценку необходимости ремонта или замены источника тока.

Внутреннее сопротивление может быть идентифицировано по его внешней характеристике – зависимости напряжения на зажимах аккумулятора от тока нагрузки. Определить внутреннее сопротивление можно выполнив преобразование выражения [3]:

$$R = \frac{E_6}{I_{кз}} \quad (4)$$

Величины напряжения и тока аккумуляторной батареи при пуске двигателя и его работе на различных режимах так же помогут дать оценку её техническому состоянию. При разряде аккумулятора его равновесная ЭДС распределяется между внутренним участком цепи, где она преодолевает внутреннее сопротивление, и внешним, где посредством присоединенного потребителя электрическая энергия преобразуется в другой вид энергии. Часть ЭДС, которая при разряде приходится на внешний участок цепи, называется напряжением разряда аккумулятора  $U_p$ . Потери же на внутреннем участке носят название внутренних потерь напряжения  $I_p R$ . Связь между напряжением разряда, ЭДС аккумулятора и внутренним падением напряжения описывается выражением [19]:

$$U_p = E - I_p R, \quad (5)$$

где  $I_p$  – сила разрядного тока, А.

Зависимость напряжения на выводах аккумуляторной батареи от силы разрядного тока для определенного момента времени после включения батареи на разряд называют вольт-амперной характеристикой аккумуляторной батареи. Данная характеристика аппроксимируется в виде прямой линии, имеющей точки пересечения с осями координат. Точка пересечения с осью ординат, соответствующей напряжению, определяет ЭДС батареи при токе разряда, равном нулю, а точка пересечения с осью абсцисс, идентичной току, условный ток короткого замыкания. При разработке предлагаемого метода диагностирования был реализован инновационный подход к порядку получения данных для построения вольт-амперной характеристики аккумуляторной батареи.

Метод основан на определении ЭДС аккумуляторной батареи, её внутреннего сопротивления, напряжения, потребляемого стартером, токов полного торможения и короткого замыкания, выводе о техническом состоянии на основании сравнения полученных значений с допустимыми.

Порядок реализации этапов предлагаемого метода отражен на рисунке 1. Последовательно выполняются следующие операции [3]:

1. Выполняют подготовительные работы, в течение которых автомобильную технику, аккумуляторная батарея которой диагностируется, размещают на прямой, горизонтальной площадке с твёрдым покрытием, затормаживают стояночным и рабочим тормозом, под колеса подкладывают специальные упоры. Выполняют работы по подключению измерительных приборов (к системе электростартерного пуска последовательно подключают амперметр, вольтметр постоянного тока подключают параллельно диагностируемой аккумуляторной батарее) [20].

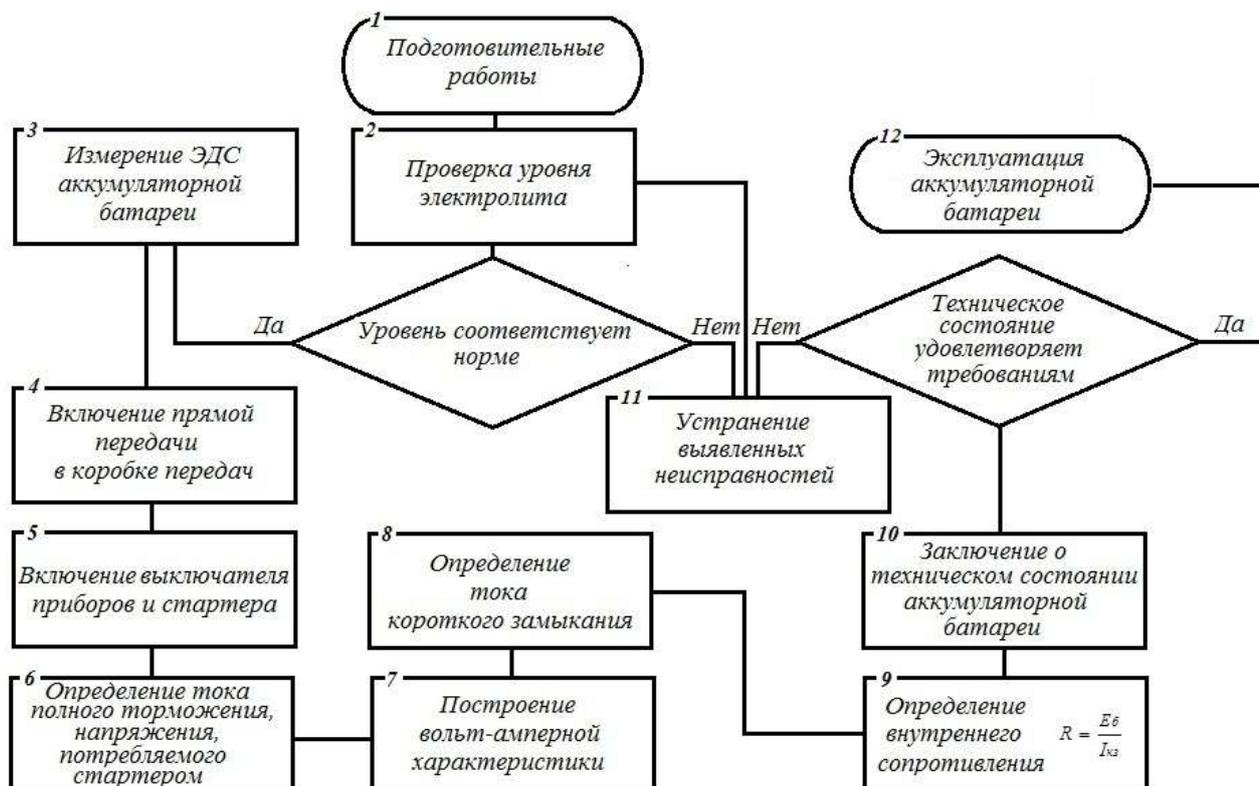


Рисунок 1– Алгоритм реализации метода диагностирования автомобильной аккумуляторной батареи

2. Определяют уровень электролита в каждом аккумуляторе, который должен составлять 10-15 мм над предохранительным щитом.

3. Измеряют ЭДС аккумуляторной батареи, которая должна быть в пределах 11,52-12,9 В для 12 вольтовой аккумуляторной батареи или 23,04-25,8 В для 24 вольтовой аккумуляторной батареи.

4. Измеряют значение силы тока полного торможения стартера и напряжение, потребляемое стартером для чего [21-22]:

4.1 В коробке переключения передач автомобиля включают прямую передачу.

4.2 Включают выключатель приборов и стартера в положение пуска двигателя и удерживают в течении 3-5 секунд [20]. Пуска двигателя не произойдет, при этом шестерня стартера входит в зацепление с зубьями венца маховика двигателя, который полностью заторможен через трансмиссию транспортного средства и пытается его провернуть, так как двигатель полностью заторможен, шестерня стартера не может провернуть маховик двигателя и, в этом случае, через стартер будет протекать ток полного торможения.

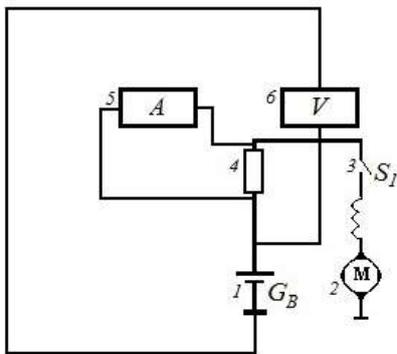


Рисунок 2 – Схема подключения измерительных приборов: 1 – диагностируемая аккумуляторная батарея, 2 – стартер, 3 – выключатель приборов и стартера, 4 – двухплечий шунт, 5 – амперметр, 6 – вольтметр

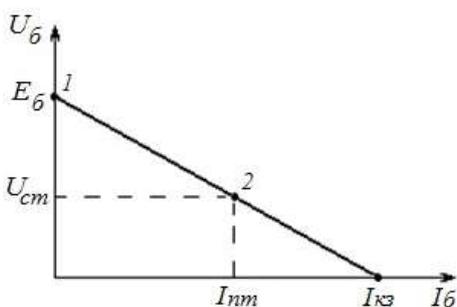


Рисунок 3 – Вольт-амперная характеристика аккумуляторной батареи

4.3 Ток полного торможения фиксируют при помощи амперметра. Так как регистрируемое значение велико, то для расширения предела измерений амперметра предлагается использовать дополнительное устройство, устанавливаемое сразу после аккумуляторной батареи. Устройство, выполненное как единое целое, представляет собой двухплечий шунт, обе ветви которого имеют одинаковую величину сопротивления.

4.4 Вольтметр зафиксирует напряжение, потребляемое стартером. Схема подключения измерительных приборов для реализации предлагаемого метода диагностирования автомобильной аккумуляторной батареи отражена на рисунке 2 [20].

5. С использованием полученных результатов строят вольт-амперную характеристику аккумуляторной батареи по двум точкам, как показано на рисунке 3, где первая точка - значение ЭДС, а вторая точка это пересечение значений тока полного торможения и напряжения, потребляемого стартером. Используя вольт-амперную характеристику определяют ток короткого замыкания аккумуляторной батареи [3].

6. Подставив в выражение 4 полученные значения ЭДС и тока короткого замыкания определяют внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи.

7. После сравнения полученных значений ЭДС, напряжения, потребляемого стартером, внутреннего

сопротивления, токов полного торможения и короткого замыкания с допустимыми делают заключение о техническом состоянии диагностируемой аккумуляторной батареи.

### Результаты и обсуждения

Предлагаемый метод диагностирования позволяет в кратчайшие сроки с незначительными трудозатратами и с достоверной точностью определить техническое состояние автомобильной аккумуляторной батареи. При реализации метода аккумуляторная батарея находится непосредственно на автомобиле, демонтажно-монтажные работы не производятся, тем самым не изнашиваются её полюсные выводы, исключается возможность повреждения корпуса при транспортировке к месту проведения работ по диагностированию и обратно.

Для реализации метода выполняют сравнение зафиксированных значений ЭДС, напряжения, потребляемого стартером, внутреннего сопротивления, токов полного торможения и короткого замыкания с их допустимыми значениями, делают вывод о техническом состоянии, необходимости выполнения и объеме операций технического обслуживания, целесообразности дальнейшей эксплуатации аккумуляторной батареи.

При условии использования измерительных приборов с функцией запоминания регистрируемых значений работы по диагностированию аккумуляторной батареи разработанным методом выполняются одним специалистом. Специальной подготовки и высокого уровня квалификации не требуется. Время диагностирования, с учётом подготовительных работ, не превышает пяти минут.

### Выводы

Разработанный метод диагностирования удовлетворяет всем предъявляемым требованиям к прогрессивным методам диагностирования, на основании комплексной оценки параметров позволяет в кратчайшие сроки получить достоверную информацию о техническом состоянии аккумуляторной батареи, обеспечивает повышение оперативности и обоснованно-

сти принимаемых решений по её дальнейшему применению, способствует гарантированному пуску двигателя и безаварийной эксплуатации автомобиля.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чижков Ю.П. Электрооборудования автомобилей и тракторов: Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы». – М.: Машиностроение, 2007. – 654 с.
2. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: Учебник для ВУЗов. – М: Горячая Линия – Телеком, 2009. – 439 с.
3. Пат. 2697404 РФ, МПК G01R 31/36 (2006/01). Способ диагностирования аккумуляторной батареи.
4. Акимов С.В., Ю.П. Чижков Электрооборудование автомобилей: Учебник для ВУЗов. – М.: За рулём, 2007. – 338 с.
5. Набоких В.А. Электрооборудование автомобилей и тракторов: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 240 с.
6. Нечаев В.В. Методика поиска и распознавания видов отказа автомобильной техники // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. - Вып. 7. – М.: Инновационное машиностроение, 2020. – С. 21-27.
7. Науменко А.П. Методы технической диагностики: Материалы лекций. – Омск: Омский государственный технический университет, 2016. – 125 с.
8. Нечаев В.В. Методы поддержания и обеспечения работоспособного состояния автомобильной техники // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. - Вып. 3. – С. 459 – 471.
9. Глущенко П.В. Техническая диагностика. Моделирование в диагностировании и прогнозировании состояния технических объектов. – М.: Вузовская книга, 2004. – 248 с.
10. Новиков А.В. Диагностика и техническое обслуживание машин для сельского хозяйства: Учебное пособие. - Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2010. – 197 с.
11. Мороз С.М. Методы обеспечения работоспособного технического состояния автотранспортных средств: Учебник для ВУЗов. – М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, 2015. – 204 с.
12. Иванов А.М. Автомобили: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для ВУЗов. - М.: Академия, 2013. – 176 с.
13. Хасанов Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобиля: Учебное пособие для ВУЗов. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2003. – 193 с.
14. Нечаев В.В. Моделирование системы регламентированного технического обслуживания автомобильной техники // Строительные и дорожные машины. – 2019. - Вып. 12. – М.: Инновационное машиностроение. – С. 37 - 40.
15. Аринин И.Н. Техническая эксплуатация автомобиля: Учебное пособие для ВУЗов. – Ростов: Феникс, 2015. – 308 с.
16. Малкин В.С. Теоретические основы технической эксплуатации: Конспект лекций для студентов ВУЗов. - Тольятти: ТГУ, 2004. – 242 с.
17. Яковлев В.Ф. Диагностика электронных систем управления автомобильными двигателями: Учебное пособие. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2010. – 122 с.
18. Галиев И.В. Техническая эксплуатация автомобилей [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.dspase.kpfu.ru/html>.
19. Симанович В.А., Демидов В.А. Стартерные аккумуляторные батареи для автомобилей и тракторов: методические рекомендации по изучению стартерных аккумуляторных батарей для автомобилей и тракторов для студентов специальностей 1-360501 «Машины и оборудование лесной промышленности», 1-460101 «Лесоинженерное дело». – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2007. – 74 с.
20. Пат. 2694112 РФ, МПК G01R 31/00 (2006/01), G01M 13/00 (2006/01). Способ диагностирования стартера.
21. Пат. 168772 РФ, МПК G01M 15/05 (2006/01), F02P 17/00 (2006/01) Анализатор работы систем двигателя внутреннего сгорания.
22. Пат. 168784 РФ, МПК G01M 15/00 (2006/01), F02M 65/00 (2006/01) Устройство для диагностирования приборов системы питания, электростартерного пуска информационно-измерительной системы, системы электроснабжения дизеля.

#### **Нечаев Виталий Викторович**

Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева

Адрес: 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8

Д.т.н., доцент, профессор кафедры управления техническим обеспечением войск национальной гвардии

E-mail: nechver@mail.ru

## THE METHOD OF DIAGNOSING A CAR BATTERY

**Abstract.** A method is presented that allows in the shortest possible time, with insignificant labor costs and with reliable accuracy to determine the technical condition of the battery, providing increased efficiency and validity of decisions on its further use, contributing to guaranteed engine start and trouble-free operation of the car.

**Keywords:** battery, electrical equipment system, power supply system, short circuit current, internal resistance, technical diagnostics, volt-ampere characteristic

### BIBLIOGRAPHY

1. Chizhkov Yu.P. Elektrooborudovaniya avtomobiley i traktorov: Uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki «Transportnye mashiny i transportno-tehnologicheskie komplekсы». - M.: Mashinostroenie, 2007. - 654 s.
2. Yutt V.E. Elektrooborudovanie avtomobiley: Uchebnik dlya VUZov. - M: Goryachaya Liniya - Telekom, 2009. - 439 s.
3. Pat. 2697404 RF, MPK G01R 31/36 (2006/01). Sposob diagnostirovaniya akkumulyatornoy batarei.
4. Akimov S.V., Yu.P. Chizhkov Elektrooborudovanie avtomobiley: Uchebnik dlya VUZov. - M.: Za ruliom, 2007. - 338 s.
5. Nabokikh V.A. Elektrooborudovanie avtomobiley i traktorov: Uchebnik dlya studentov uchrezhdeniy srednego professional'nogo obrazovaniya. - M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2013. - 240 s.
6. Nechaev V.V. Metodika poiska i raspoznavaniya vidov otkaza avtomobil'noy tekhniki // Gruzovik: transportnyy kompleks, spets tekhnika. - Vyp. 7. - M.: Innovatsionnoe mashinostroenie, 2020. - S. 21-27.
7. Naumenko A.P. Metody tekhnicheskoy diagnostiki: Materialy lektsiy. - Omsk: Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2016. - 125 s.
8. Nechaev V.V. Metody podderzhaniya i obespecheniya rabotosposobnogo sostoyaniya avtomobil'noy tekhniki // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2020. - Vyp. 3. - S. 459-471.
9. Glushchenko P.V. Tekhnicheskaya diagnostika. Modelirovanie v diagnostirovanii i prognozirovanii sostoyaniya tekhnicheskikh ob'ektov. - M.: Vuzovskaya kniga, 2004. - 248 s.
10. Novikov A.V. Diagnostika i tekhnicheskoe obsluzhivanie mashin dlya sel'skogo khozyaystva: Uchebnoe posobie. - Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy agrarnyy tekhnicheskiiy universitet, 2010. - 197 s.
11. Moroz S.M. Metody obespecheniya rabotosposobnogo tekhnicheskogo sostoyaniya avtotransportnykh sredstv: Uchebnik dlya VUZov. - M.: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2015. - 204 s.
12. Ivanov A.M. Avtomobili: Teoriya ekspluatatsionnykh svoystv: Uchebnik dlya VUZov. - M.: Akademiya, 2013. - 176 s.
13. Hasanov R.H. Osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobilya: Uchebnoe posobie dlya VUZov. - Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet, 2003. - 193 s.
14. Nechaev V.V. Modelirovanie sistemy reglamentirovannogo tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobil'noy tekhniki // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. - 2019. - Vyp. 12. - M.: Innovatsionnoe mashinostroyeniye. - S. 37-40.
15. Arinin I.N. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobilya: Uchebnoe posobie dlya VUZov. - Rostov: Feniks, 2015. - 308 s.
16. Malkin V.S. Teoreticheskie osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii: Konspekt lektsiy dlya studentov VUZov. - Tol'yatti: TGU, 2004. - 242 s.
17. Yakovlev V.F. Diagnostika elektronnykh sistem upravleniya avtomobil'nymi dvigatelyami: Uchebnoe posobie. - Samara: Samarskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2010. - 122 s.
18. Galiev I.V. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.dspase.kpfu.ru/html>.
19. Simanovich V.A., Demidov V.A. Starternye akkumulyatornye batarei dlya avtomobiley i traktorov: metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu starternykh akkumulyatornykh batarey dlya avtomobiley i traktorov dlya studentov spetsial'nostey 1-360501 «Mashiny i oborudovanie lesnoy promyshlennosti», 1-460101 «Lesoinzhenernoe delo». - Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy agrarnyy tekhnicheskiiy universitet, 2007. - 74 s.
20. Pat. 2694112 RF, MPK G01R 31/00 (2006/01), G01M 13/00 (2006/01). Sposob diagnostirovaniya startera.
21. Pat. 168772 RF, MPK G01M 15/05 (2006/01), F02R 17/00 (2006/01) Analizator raboty sistem dvigatelya vnutrennego sgoraniya.
22. Pat. 168784 RF, MPK G01M 15/00 (2006/01), F02M 65/00 (2006/01) Ustroystvo dlya diagnostirovaniya priborov sistemy pitaniya, elektrostarternogo pushka informatsionno-izmeritel'noy sistemy, sistemy elektrosnabzheniya dizelya.

**Nechaev Vitaly Viktorovich**

Military Academy of Logistics

Address: 199034, Russia, St. Petersburg, nab. Makarova, 8

Doctor of technical sciences

E-mail: nechver@mail.ru

Научная статья

УДК 629.113.004

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-19-27

В.И. САРБАЕВ, А.Г. ГУСЕВ

## РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЗАДНЕГО МОСТА АВТОБУСА В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОТКАЗОВ

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы построения схемы надежности заднего моста автобуса. На основе статистического анализа получены оценки параметров модели надежности Вейбулла для отдельных узлов моста, которые являются основой для расчета схем надежности заднего моста. Для основных узлов, которые используются в схеме надежности показана близость к модели Релея, которая и используется в качестве базовой модели. Предложен подход расчета надежности моста, основанный на использовании аппарата нечетких множеств. Предполагается, что параметры моделей надежности представляют нечеткие числа. Для расчета схемы на основе классических методов получены преобразования функций принадлежности параметров моделей надежности деталей. В результате показатели надежности, такие как, вероятность безотказной работы, вероятность отказа и другие также являются нечеткими числами или нечеткими функциями.

**Ключевые слова:** задний мост автобуса, надежность, показатели надежности, нечеткие числа, схема надежности, функция принадлежности

### Введение

Определение рациональных режимов поддержания работоспособности агрегатов и узлов автобуса, как это известно из теории технической эксплуатации, базируется на исследовании и анализе показателей надежности и процессов изменения технического состояния в реальных условиях эксплуатации, с учетом влияния этих условий, а также методов и характеристик ремонтных и профилактических воздействий на исследуемый агрегат [10, 14].

Задний мост (ЗМ) – это один из основных агрегатов автомобиля с задним приводом, (рис. 1) [11, 12]. Основными деталями заднего моста являются: две полуоси; штампованный кожух (корпус); центральный редуктор; две колесные передачи, передающие крутящий момент; дифференциал; карданный вал [4].

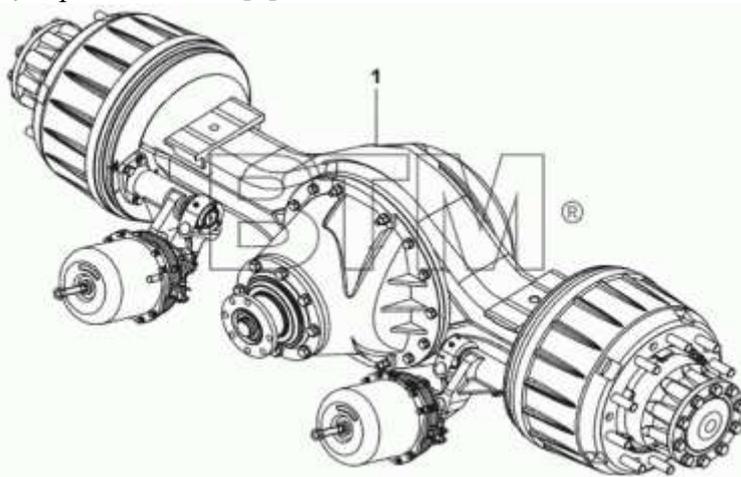


Рисунок 1 - Задний мост автобуса

Однако, в свете проведенного анализа отказов и собранной статистики для проектирования схемы надежности будем использовать наименее надежные узлы (рис. 2): сапуна – 32,9 %; сальники задней ступицы/полуоси - 32,9 %; ведущая и ведомая шестерня - 16,4 %; сателлит дифференциала - 8,2 %; шестерня полуоси заднего моста - 4,2 %; редуктор в сборе - 4,2 % [13]. На остальные детали и узлы приходится 1,4 % отказов.

Таким образом, в рамках проведенных исследований и полученных статистических данных для отдельных деталей и узлов, а также по имеющимся данным из различных рос-

сийских и зарубежных источников была сформирована таблица параметров  $a$  и  $b$  модели надежности Вейбулла (табл. 1) лимитирующих надежность заднего моста автобуса [1, 2, 16].

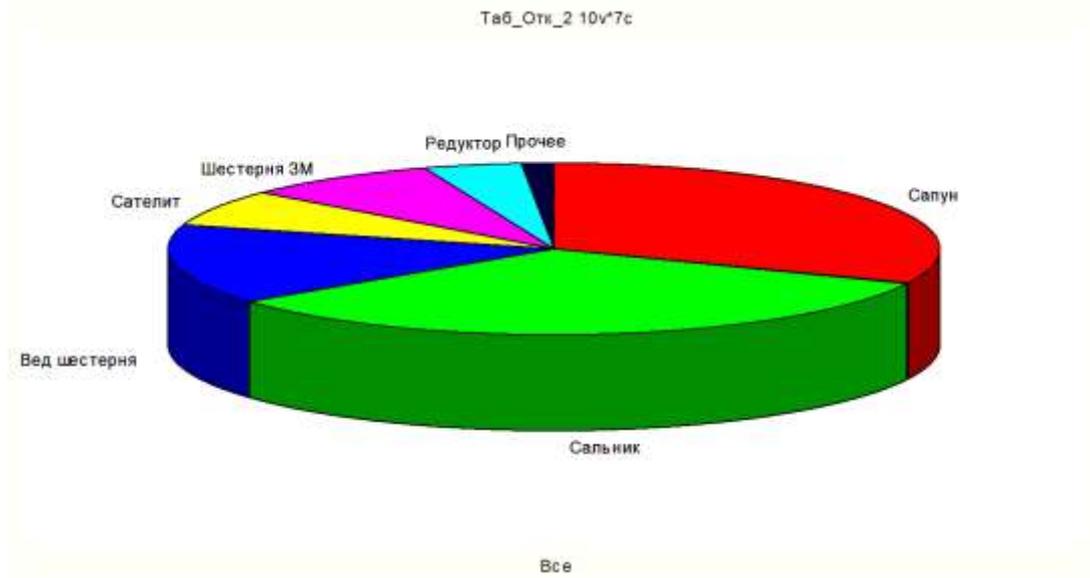


Рисунок 2 - Относительное распределение отказов по узлам заднего моста

Приведенные в таблице параметры позволяют выполнить расчет характеристик надежности заднего моста в целом. В качестве таких характеристик можно использовать вероятность отказа, вероятность безотказной работы (ВБР) и другие [3, 15].

Таблица 1 - Нарботка на отказ и оценки параметров модели Вейбулла

Узел	Нарботка на отказ	Параметры Вейбулла	
		$a$	$b$
Сапун	250	300	1,80
Сальники задней полуоси	200	300	2,05
Ведущая и ведомая шестерня	500	600	2,20
Сателит дифференциала	900	1200	1,75
Шестерня полуоси	1000	1400	2,15
Редуктор в сборе	1500	2400	1,90

### Материал и методы

Для оценки надежности ЗМ в первую очередь необходимо построение блок-схемы надежности, отражающей влияние отказов элементов на работоспособность системы в целом. Помимо основных идентификаторов, блок-схема элементов может содержать значения различных параметров элементов, например, ВБР, интенсивности отказов и т.д. [8, 9, 19] Формализованная схемы надежности, состоящая из основных шести узлов, в силу конструктивных особенностей заднего моста, будет иметь последовательную структуру (рис.3).

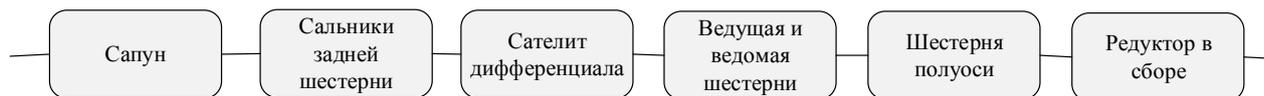


Рисунок 3 - Последовательная схема надежности заднего моста

В связи с достаточно редкими отказами деталей ЗМ предлагается использовать параметризацию вероятности безотказной работы в виде нечетких множеств.

В детерминированном представлении последовательной схемы надежности для вероятности безотказной работы справедливо соотношение в виде произведения вероятностей

безотказной работы всех ее элементов  $P_s = \prod_{i=1}^N P_i$ . Вероятность безотказной работы опреде-

лена для произвольно заданного момента времени. Для фиксированного момента времени  $t$  справедлива запись  $P_s(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t)$ .

Для детерминированного варианта последние соотношения позволяют сделать утверждения:

- 1) в силу того, что  $0 \leq P \leq 1$ , ВБР последовательной системы всегда меньше ВБР любого входящего в нее элемента;
- 2) ВБР последовательной системы всегда меньше ВБР наименее надежного элемента системы.

Как было указано выше, для отдельных деталей ЗМ в рамках статистических исследований были получены параметры  $a$  и  $b$  модели надежности Вейбулла, для которой вероятность безотказной работы задается соотношением

$$P(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{a_i} \right)^{b_i} \right], \quad (1)$$

где  $a_i, b_i$  - параметры модели надежности Вейбулла  $i$ -го элемента последовательной схемы надежности. Для вероятности безотказной работы системы для модели Вейбулла будет справедливо соотношение

$$P_s(t) = \prod_{i=1}^N \exp \left[ - \left( \frac{t}{a_i} \right)^{b_i} \right] = \exp \left[ - \sum_{i=1}^N \left( \frac{t}{a_i} \right)^{b_i} \right], \quad (2)$$

которое позволяет сделать вывод: если элементы системы с последовательным соединением задаются моделями надежности Вейбулла, то никаких общих формул для описания модели надежности всей системы нет.

### Теория

Следует отметить, что при значении  $b=1$  распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное, а при значении  $b=2$  в распределение Релея. Как видно из таблицы статистики отказов (табл. 1), параметр  $b$ , определяющий форму модели Вейбулла, имеет значения близкие к 2. В работе проведен анализ влияния параметра  $b$  на форму кривой Вейбулла (рис. 4) и показано, что в пределах допуска  $2 \pm 0,25$  возможная замена на модель Релея. В целом значение точности при расчете системы должны быть соизмеримы, а его статистическая оценка является достаточно грубой, тем более, что эта оценка будет заменена на нечеткое число [5, 17, 20].

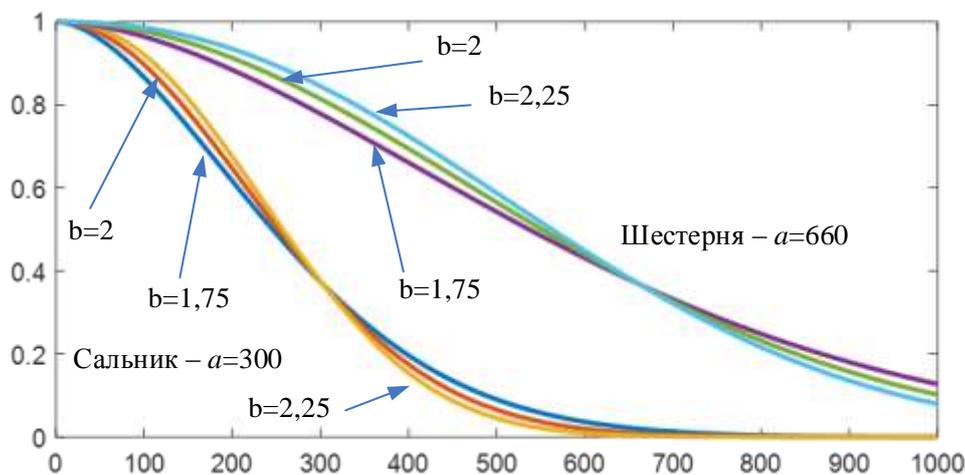


Рисунок 4 - Вероятность безотказной работы узлов

В общем случае, модель надежности Релея определяется равенством

$$Q(t) = 1 - \exp \left[ - \frac{t^2}{2\sigma^2} \right], \quad (3)$$

где  $\sigma$  – параметр распределения, имеющий размерность времени и определяет моду распределения и связь между параметром  $a$  модели Вейбулла и  $\sigma$  модели Релея определяется соотношением  $a = \sqrt{2} \sigma$ .

При этом ВБР будет равна  $P(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right)$ , интенсивность  $\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{t}{\sigma^2}$ , а сред-

нее время наработки на отказ  $T_{cp} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}$ . При этом для модели Релея интенсивность отказов

– возрастающая прямая линия. Такая форма функции интенсивности обычно определяет отказы механических систем, где в силу трения интенсивность отказов постоянно возрастает.

Для последовательной схемы соотношение для вероятности безотказной работы при использовании МН Релея будет справедливо соотношение

$$P_s(t) = \prod_{i=1}^N \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_i^2}\right) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}\right) \cdot t^2\right], \quad (4)$$

а принимая новое обозначение параметра надежности системы как

$$\frac{1}{\sigma_s^2} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}, \quad (5)$$

придем к соотношению

$$P_s(t) = \prod_{i=1}^N \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_i^2}\right) = \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_s^2}\right). \quad (6)$$

Таким образом, для модели Релея в последовательной схеме надежности она также имеет место и для всей системы, т.е. если модель Релея принята для элементов системы, то она будет справедлива и для всей системы с параметром  $\sigma_s$ .

#### Формирование функций принадлежности параметров в модели надежности Релея

В силу достаточно ограниченной статистики отказов, эксплуатации задних мостов различных производителей, производства деталей и узлов заднего моста в различные периоды времени и других факторов, в работе полагается, что более адекватной моделью параметризации модели надежности будет нечеткая формализация [6, 7, 18], т.е. для каждого узла параметр  $\sigma_i$  будет задаваться нечетким числом с функцией принадлежности  $\mu_i(\sigma_i)$ . Предполагая, что параметры модели представляют нечеткие числа, общий параметр схемы надежности также будет нечетким числом  $\mu_s(\sigma_s)$ .

Достаточно часто на практике используются функции принадлежности, такие как «треугольная». Операции с ними не выводят за их класс зависимостей, что удобно при формировании правил нечеткого вывода, когда база правил достаточно объемна. Синтаксис треугольной функции  $y = \text{trimf}(x, [a \ b \ c])$ .

$$f(x | \sigma, c) = \begin{bmatrix} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & x \geq c \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Треугольная форма зависит от трех скалярных параметров  $a$  (левая границ интервала),  $b$  (вершина треугольника) и  $c$  (правая границ интервала). Кроме того, эта функция принадлежности имеет программную поддержку в пакете Matlab. В результате экспертного опроса [13] получены вариации параметра  $\sigma$  модели Релея для каждого агрегата (рис. 5).

Далее будем обозначать функции принадлежности нечетких параметров  $\sigma_i$  модели Релея как  $\mu_i(x)$ .

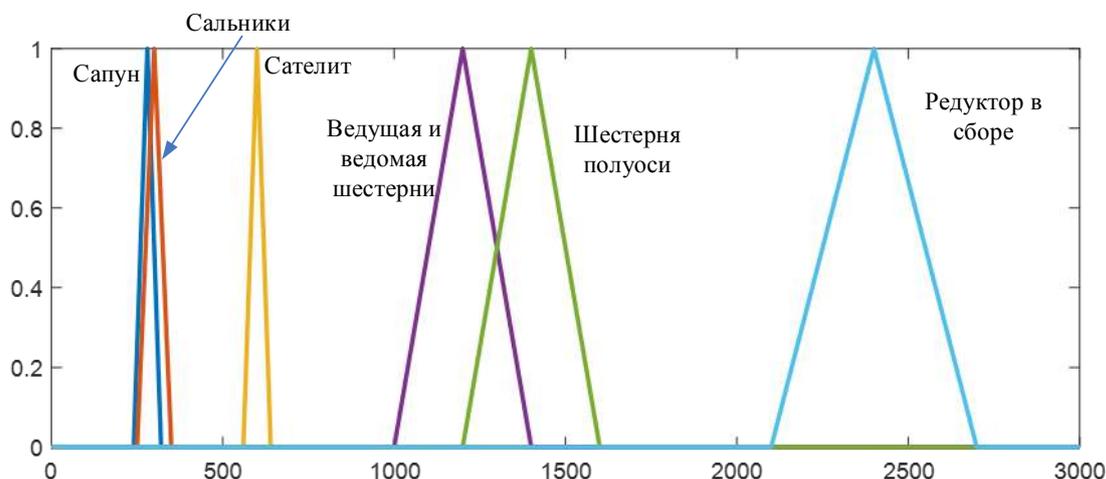


Рисунок 5 - Треугольные функции принадлежности параметров деталей заднего моста

Алгоритмическое преобразование функций принадлежности в модели расчета надежности

Так, для расчета нечеткого параметра надежности последовательной схемы для всего ЗМ необходимо реализовать ряд унарных операций функционального преобразования нечетких параметров  $\sigma_i$  в  $1/\sigma_i^2$ .

При реализации унарной операции для каждого  $x$  задано преобразование  $y=g(x)=(1/x^2)$  и значение функции принадлежности  $\mu(x)$ . В результате функция принадлежности унарного преобразования задается как  $\eta(x)=\mu(g^{-1}(x))$ , т.е. преобразованное значение аргумента  $x$  имеет то же самое значение функции принадлежности (рис. 6).

В результате получаем шесть функции принадлежности  $\eta_i(x)$  всех нечетких преобразований параметров для  $1/\sigma_i^2$ . Естественно, что они имеют функции принадлежности несколько другого вида.

В соответствии с соотношением (5) далее необходимо сложить все полученные нечеткие значения преобразований. Для бинарной операции нечеткого сложения в работе предлагается использовать принцип обобщения, который формулируется следующим образом: пусть имеются два нечетких числа

$$X=\{(x_i|p_i)\}, i=1\dots n \sim \lambda_X(x_i)=p_i, Y=\{(y_j|q_j)\}, j=1\dots m, \lambda_Y(y_j)=q_j, \tag{8}$$

и произвольная бинарная операция «\*» над обычными числовыми переменными.

В такой ситуации результат операции,  $Z=X*Y$  будет выглядеть следующим образом [17]

$$Z = \bigcup_{i,j} \{(x_i * y_j) | [\min(\lambda_A(x_i); \lambda_A(y_j))]\}. \tag{9}$$

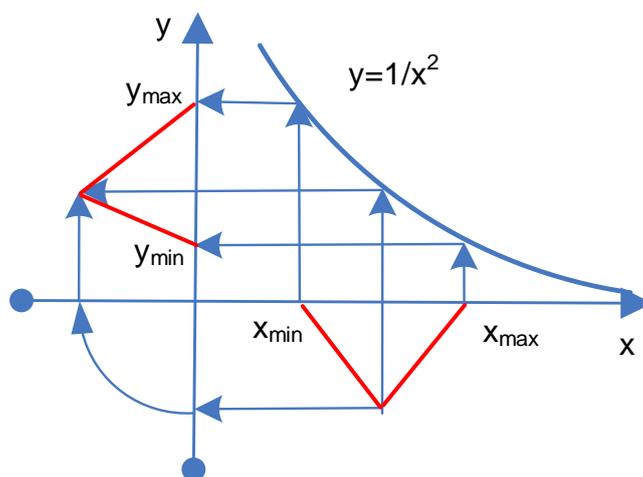


Рисунок 6 - Преобразование нечеткого параметра  $\sigma$  в  $1/\sigma^2$

Для реализации принципа обобщения бинарную операцию необходимо выполнить для всех пар универсальных множеств, поэтому схема расчета сводится к формированию таблицы попарных результатов.

В результате сложения по принципу обобщения на основании программного расчета всех преобразований  $1/\sigma_i^2$  получаем нечеткое число  $Q = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}$  с функцией принадлежности всей системы (т.е. заднего моста), которую обозначим  $\eta(x)$ .

Последним этапом, поскольку полученная сумма представляет значение  $Q = \frac{1}{\sigma_s^2}$ , необходимо выполнить обратное преобразование  $\sigma_s = \frac{1}{\sqrt{Q}}$  (рис. 7)

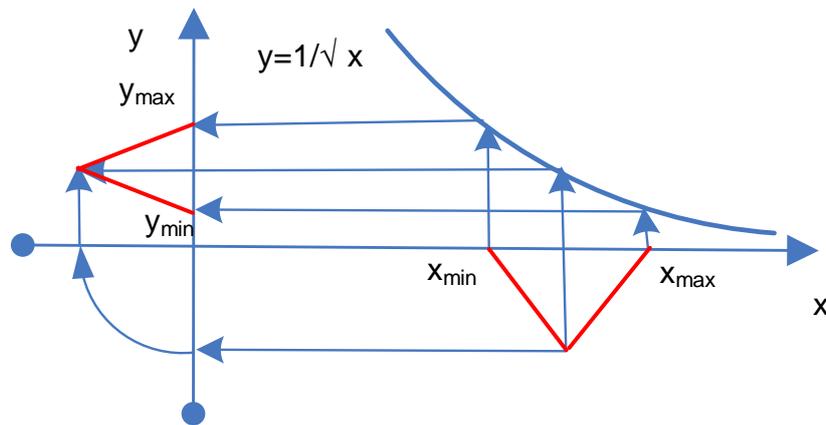


Рисунок 7 - Преобразование  $\sigma_s = \frac{1}{\sqrt{Q}}$

Преобразование выполняется подобно преобразованию рисунка 6. В данном случае для каждого  $x$  задано преобразование  $y=g(x)=(1/\sqrt{x})$  и значение функции принадлежности  $\eta(x)$ . В результате функция принадлежности унарного преобразования задается как  $\mu_s(x)=\eta(g^{-1}(x))$ , т.е. функция принадлежности параметра модели Релея для всей системы (заднего моста).

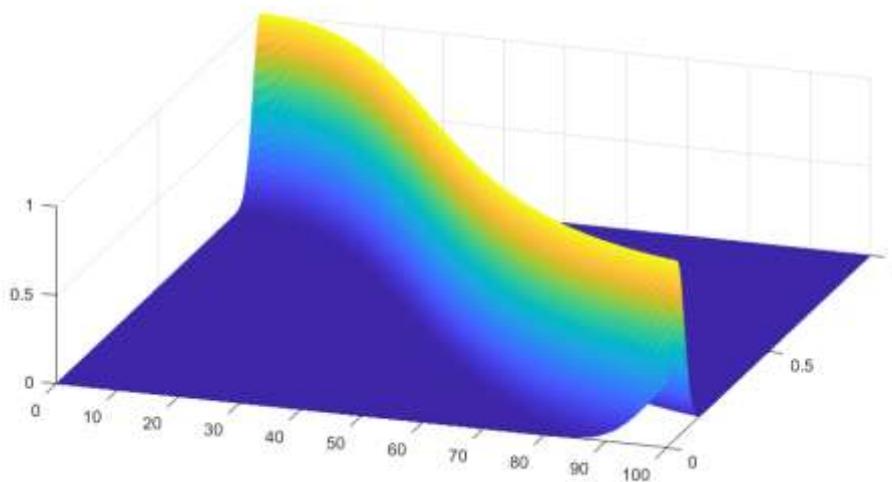


Рисунок 8 - Вероятность безотказной работы заднего моста в нечеткой формализации

Таким образом, в результате преобразований нечетких параметров модели Релея для всех учитываемых в модели надежности заднего моста деталей, получили нечёткое значение параметра общей модели надежности всего заднего моста.

При нечетком значении параметра соответствующие показатели надежности (рис. 8) также будут иметь вид нечеткого множества, но определенного на декартовом произведении значений вероятности и шкалы времени жизненного цикла системы  $P_s(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_s^2}\right)$ , где  $\sigma_s$  нечеткое число с функцией принадлежности  $\mu_s(x)$ .

Далее аналогичным образом можно построить нечеткую вероятность безотказной работы, нечеткое время наработки на отказ и другие характеристики надежности ТС.

### **Результаты и обсуждение**

В статье рассматриваются вопросы построения схемы надежности заднего моста. Особенность предложенного подхода к расчету схемы надежности моста заключается в формализации параметров модели надежности в виде нечетких чисел. Проведенный статистический анализ отказов автобусов позволил получить оценки параметров модели надежности Вейбулла для отдельных узлов моста. Выполнена вариация параметром формы распределения Вейбулла и для расчета схемы надежности показана возможность использования модели надежности Релея, которые являются основой для расчета схем надежности заднего моста и для которой имеется аналитическое преобразование параметров моделей элементов в параметр модели Релея всей системы, т.е. заднего моста. Для описания нечетких значений параметров модели Релея выбраны треугольные функции принадлежности. Расчет схемы выполнен на основе классических методов, в связи с чем получены преобразования функций принадлежности параметров моделей надежности всех деталей в нечеткий показатель надежности всей системы.

### **Выводы**

Таким образом, в нечеткой формализации получены показатели надежности, такие как ВБР, вероятность отказа и другие также являются нечеткими числами или нечеткими функциями. В статье рассмотрены вопросы моделирования и построения схемы надежности заднего моста автобуса. Однако, представленный подход к расчету схем надежности, основной особенностью которого является формализация основных компонентов модели в виде нечетких чисел, обладает достаточной общностью и может быть использован для построения моделей надежности других агрегатов.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Антипенко Г.Л., Судакова В.А., Шамбалова М.Г. Оценка технического состояния зубчатых колес по анализу кинематической погрешности передачи // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2016. – №3(52). – С. 6-18.
2. Баженов, Ю.В., Баженов М.Ю. Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации // Фундаментальные исследования. – Пенза, 2015. – №4. – С. 16-21.
3. Барыкин А.Ю., Мухаметдинов М.М., Тахавиев Р.Х. Влияние условий эксплуатации на безотказность и долговечность ведущих мостов грузовых автомобилей // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. - Ижевск, 2020. - С. 16-22.
4. Гусев Д.А., Неговора А.В. Повышение надежности агрегатов трансмиссии // Состояние, проблемы и перспективы развития АПК: материалы Международной науч.-практ. конф. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2010. – С. 37-39.
5. Ефремов А.А. Вычисление нечеткой вероятности безотказной работы систем с нечеткими параметрами моделей надежности // Доклады ТУСУРа. – 2015. - №2(36). – С. 136-140.
6. Ухоботов В.И. Избранные главы теории нечетких множеств: учебное пособие. - Челябинск: Челяб. гос. ун-та, 2011. - 245 с.
7. Косолапов, А.А. Методика анализа надёжности нечётких систем с использованием теории размытых множеств // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013: Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – С. 71-81.
8. Логачев, В.Г., Макарова А.Н. Модель формирования вероятности безотказной работы машин с учетом вариации периодичности технического обслуживания // Вестник Курганской ГСХА. – 2015. – №4. – С. 45-47.
9. Основы теории надежности и диагностики: методическое пособие / Н.Ф. Булгаков, Е.Г. Махова, В.В. Коваленко и др. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2013. – 86 с.

10. Пастухов А.Г., Глигорич Р., Тимашов Е.П. и др. Резервы формирования безотказности карданных передач // Современные проблемы инновационного развития агроинженерии: Материалы международной науч.-произв. конф. – Белгород: Белгородская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Я. Горина, 2012. – С. 107-112.
11. Сарбаев В.И., Болдин А.П. Надёжность и техническая диагностика подвижного состава автомобильного транспорта. Теоретические основы: Учебное пособие. – М., 2010. – 206 с.
12. Сарбаев В.И., Тарасов В.В. Техническая эксплуатация автотранспортных средств. Выбор стратегии в организации и управлении: Учебное пособие / Под общей редакцией В.В. Тарасова. – М.: МГИУ, 2004. – 192 с.
13. Тимашов Е.П. Экспертная оценка надежности отдельных агрегатов транспортных и технологических машин // Роль науки в удвоении валового регионального продукта: Материалы XXV Международной науч.-произв. конф. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – С. 178-179.
14. Chung-Hao, Chen, Yi Yao, Andreas Koschan, Mongi Abidi A novel performance evaluation paradigm for automated video surveillance systems Central european journal of computer science [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.2478/s13537-011-0030-0>
15. Chernitsyn S.A., Kovalev R.N., Stepanov A.S. Increase of efficiency of operation of vehicles by forecasting of requirement for spare parts [Электронный ресурс] // Scientific journal Fundamental research. – 2014. – №6 (part 7) – P. 1361-1364. – Режим доступа: <https://fundamentalresearch.ru/en/article/view?id=34341> (дата обращения: 26.05.2019).
16. István Lakatos. Introduction of video surveillance systems in the performance of earthworks tracked vehicles // International Scientific Journals «Machines. Technologies. Materials». - Vol. 5. – 2018. - P. 36-42.
17. Kosolapov A.A. Metodika analiza nadezhnosti nechetkikh sistem s ispolzovaniyem teorii razmytykh mnozhestv [The method of fuzzy systems reliability analysis using fuzzy set theory] // Sovremennyye napravleniya teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy '2013: Materialy mezhdunarodnoy nauchnoprakticheskoy konferentsii. – Odessa. – 2013. - P. 71-81.
18. Kumar A., Yadav S.P., Kumar S. Fuzzy System reliability using different types of vague sets. Int // Journal of applied science and engineering. – 2008. - №6, 1. - P. 71-83.
19. Zhuang, Miao, Shan Zou, Yang Li, Xiancai Zhang Intelligent video surveillance system based on moving object detection and tracking [Электронный ресурс] / The world's research. – 2016. – P. 494-502. - DOI: 10.12783/dtetr/iect2016/3765. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/313885667\\_Intelligent\\_Video\\_Surveillance\\_System\\_Based\\_on\\_Moving\\_Object\\_Detection\\_and\\_Tracking](https://www.researchgate.net/publication/313885667_Intelligent_Video_Surveillance_System_Based_on_Moving_Object_Detection_and_Tracking)
20. Xiaoxi Liu, Ju Liu, Lingchen Gu, Yannan Ren Keyframe-Based Vehicle Surveillance Video Retrieval [Электронный ресурс] / International journal of digital crime and forensics (IJDCF). - №10(4). – P. 10. - DOI: 10.4018/IJDCF.2018100104. – Режим доступа: <https://www.igi-global.com/article/keyframebased-vehicle-surveillance-video-retrieval/210136>.

**Сарбаев Владимир Иванович**

Московский политехнический университет  
Адрес: 107023, Россия, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38  
Д.т.н., профессор  
E-mail: visarbaev@gmail.com

**Гусев Андрей Георгиевич**

Московский политехнический университет  
Адрес: 107023, Россия, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38  
Аспирант  
E-mail: andreu200909@icloud.com

---

V.I. SARBAEV, A.G. GUSEV

## **CALCULATION OF RELIABILITY INDICATORS OF THE REAR AXLE OF A BUS UNDER CONDITIONS OF FUZZY FORMALIZATION OF FAILURE PARAMETERS**

**Abstract.** The article deals with the issues of constructing a rear axle reliability scheme. On the basis of statistical analysis, estimates of the parameters of the Weibull reliability model for individual axle nodes are obtained, which are the basis for calculating rear axle reliability schemes. For the main nodes that are used in the reliability scheme, the proximity to the Rayleigh model is shown, which is used as the base model. The article proposes an approach for calculating the reliability of a bridge based on the use of fuzzy sets. It is assumed that the parameters of reliability models represent fuzzy numbers. To calculate the scheme on the basis of classical methods, transformations of the membership functions of the parameters of the reliability models of parts are obtained. As a result, reliability indicators such as the probability of failure-free operation, the probability of failure, and others are also fuzzy numbers or fuzzy functions.

**Keywords:** rear axle, reliability, reliability indicators, fuzzy numbers, reliability scheme, membership function

BIBLIOGRAPHY

1. Antipenko G.L., Sudakova V.A., Shambalova M.G. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya zubchatykh koles po analizu kinemacheskoy pogreshnosti peredachi // Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta. - 2016. - №3(52). - S. 6-18.
2. Bazhenov, Yu.V., Bazhenov M.Yu. Prognozirovaniye ostatochnogo resursa konstruktivnykh elementov avtomobiley v usloviyakh ekspluatatsii // Fundamental'nye issledovaniya. - Penza, 2015. - №4. - S. 16-21.
3. Barykin A.Yu., Mukhametdinov M.M., Takhaviev R.H. Vliyaniye usloviy ekspluatatsii na bezotkaznost' i dolgovechnost' vedushchikh mostov gruzovykh avtomobiley // Avtomobilstroeniye: proektirovaniye, konstruirovaniye, raschet i tekhnologii remonta i proizvodstva: Materialy IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Izhevsk, 2020. - S. 16-22.
4. Gusev D.A., Negovora A.V. Povysheniye nadezhnosti agregatov transmissii // Sostoyaniye, problemy i perspektivy razvitiya APK: materialy Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. - Ufa: Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2010. - S. 37-39.
5. Efremov A.A. Vychisleniye nechetkoy veroyatnosti bezotkaznoy raboty sistem s nechetkimi parametrami modeley nadezhnosti // Doklady TUSURa. - 2015. - №2(36). - S. 136-140.
6. Ukhobotov V.I. Izbrannyye glavy teorii nechetkikh mnozhestv: uchebnoye posobie. - Chelyabinsk: Chelyab. gos. un-ta, 2011. - 245 s.
7. Kosolapov, A.A. Metodika analiza nadiozhnosti nechetkikh sistem s ispol'zovaniem teorii razmytykh mnozhestv // Sovremennyye napravleniya teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy 2013: Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. - Odessa: KUPRIENKO, 2013. - S. 71-81.
8. Logachev, V.G., Makarova A.N. Model' formirovaniya veroyatnosti bezotkaznoy raboty mashin s uchedom variatsii periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya // Vestnik Kurganskoy GSHA. - 2015. - №4. - S. 45-47.
9. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostiki: metodicheskoye posobie / N.F. Bulgakov, E.G. Makhova, V.V. Kovalenko i dr. - Krasnoyarsk: Sib. Feder. un-t, 2013. - 86 s.
10. Pastukhov A.G., Gligorich R., Timashov E.P. i dr. Rezervy formirovaniya bezotkaznosti kardannykh peredach // Sovremennyye problemy innovatsionnogo razvitiya agroinzhenerii: Materialy mezhdunarodnoy nauch.-proizv. konf. - Belgorod: Belgorodskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya im. V.Ya. Gorina, 2012. - S. 107-112.
11. Sarbaev V.I., Boldin A.P. Nadiozhnost' i tekhnicheskaya diagnostika podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta. Teoreticheskiye osnovy: Uchebnoye posobie. - M., 2010. - 206 s.
12. Sarbaev V.I., Tarasov V.V. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtotransportnykh sredstv. Vybory strategiy v organizatsii i upravlenii: Uchebnoye posobie / Pod obshchey redaktsiyey V.V. Tarasova. - M.: MGIU, 2004. - 192 s.
13. Timashov E.P. Ekspertnaya otsenka nadezhnosti otdeley agregatov transportnykh i tekhnologicheskikh mashin // Rol' nauki v udvoenii valovogo regional'nogo produkta: Materialy XXV Mezhdunarodnoy nauch.-proizv. konf. - Mayskiy: FGBOU VO Belgorodskiy GAU, 2021. - S. 178-179.
14. Chung-Hao, Chen, Yi Yao, Andreas Koschan, Mongi Abidi A novel performance evaluation paradigm for automated video surveillance systems Central european journal of computer science [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://link.springer.com/article/10.2478/s13537-011-0030-0>
15. Chernitsyn S.A., Kovalev R.N., Stepanov A.S. Increase of efficiency of operation of vehicles by forecasting of requirement for spare parts [Elektronnyy resurs] // Scientific journal Fundamental research. - 2014. - №6 (part 7) - P. 1361-1364. - Rezhim dostupa: <https://fundamentalresearch.ru/en/article/view?id=34341> (data obrashcheniya: 26.05.2019).
16. Istv'n Lakatos. Introduction of video surveillance systems in the performance of earthworks tracked vehicles // International Scientific Journals «Machines. Technologies. Materials». - Vol. 5. - 2018. - P. 36-42.
17. Kosolapov A.A. Metodika analiza nadezhnosti nechetkikh sistem s ispol'zovaniyem teorii razmytykh mnozhestv [The method of fuzzy systems reliability analysis using fuzzy set theory] // Sovremennyye napravleniya teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy '2013: Materialy mezhdunarodnoy nauchnoprakticheskoy konferentsii. - Odesa. - 2013. - R. 71-81.
18. Kumar A., Yadav S.P., Kumar S. Fuzzy System reliability using different types of vague sets. Int // Journal of applied science and engineering. - 2008. - №6, 1. - R. 71-83.
19. Zhuang, Miao, Shan Zou, Yang Li, Xiancai Zhang Intelligent video surveillance system based on moving object detection and tracking [Elektronnyy resurs] / The world's research. - 2016. - P. 494-502. - DOI: 10.12783/dtetr/iect2016/3765. - Rezhim dostupa: [https://www.researchgate.net/publication/313885667\\_Intelligent\\_Video\\_Surveillance\\_System\\_Based\\_on\\_Moving\\_Object\\_Detection\\_and\\_Tracking](https://www.researchgate.net/publication/313885667_Intelligent_Video_Surveillance_System_Based_on_Moving_Object_Detection_and_Tracking)
20. Xiaoxi Liu, Ju Liu, Lingchen Gu, Yannan Ren Keyframe-Based Vehicle Surveillance Video Retrieval [Elektronnyy resurs] / International journal of digital crime and forensics (IJDCF). - №10(4). - P. 10. - DOI: 10.4018/IJDCF.2018100104. - Rezhim dostupa: <https://www.igi-global.com/article/keyframebased-vehicle-surveillance-video-retrieval/210136>.

**Sarbaev Vladimir Ivanovich**  
Moscow Polytechnic University  
Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38 B  
Doctor of technical sciences  
E-mail: visarbaev@gmail.com

**Gusev Andrey Georgievich**  
Moscow Polytechnic University  
Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38 B  
Postgraduate student  
E-mail: andreu200909@icloud.com

Научная статья

УДК 656.137

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-28-33

Д.А. НИКИТИН

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ОРГАНА СПЕЦИАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ**

***Аннотация:** В статье рассмотрены особенности эксплуатации летного поля. Приведены основные принципы работы автомобилей специального назначения при уборке взлетно-посадочных полос в зимний период времени. Определена особая важность производительности и качества выполняемых на территории летного поля работ, выполняемых с применением щеточного узла. Выявлены основные конструкционные элементы и системы привода центральной щетки специального уборочного автомобиля. В результате исследования разработаны основные конструкционные элементы и система привода цилиндрической щетки, подъемного и прижимного механизма.*

***Ключевые слова:** щетка центральная, конструктивные элементы, специальный автомобиль, механизм подъема, механизм поворота, безопасность полетов, аэропорт*

### **Введение**

Территория взлетно-посадочной полосы, рулежных дорожек и прилегающих территорий подвержена загрязнению как в результате воздействия окружающей среды, так и людей, осуществляющих перелеты и обслуживания воздушных судов. Уборка этих территорий напрямую влияет как на качество и безопасность перелетов, так и на количество временных издержек в результате изменения погодных условий, например, при выпадении снега или образования наледи [1].

Для выполнения задач зимнего и летнего содержания покрытий аэродромов применяют универсальные автотранспортные уборочные машины.

Принцип работы спецмашины зимой: передний отвал (или плуг) отбрасывает основную массу снега, цилиндрическая щётка сметает оставшуюся снежную массу, воздушное сопло полностью сметает воздушным потоком оставшуюся снежную пыль.

Цилиндрические щетки – один из основных видов подметального оборудования, используемого при механизированном уходе за твёрдыми искусственными покрытиями автомобильных дорог, городских транспортных магистралей и пешеходных зон, а также покрытиями взлётных полос, рулежных дорожек и перронов аэродромов [2, 3].

Повышение эксплуатационных свойств щеточного узла позволит повысить скорость уборки взлетно-посадочных полос (ВПП), рулежных дорожек (РД), мест стоянки (МС) и прилегающих территорий аэропорта. Помимо этого, разрабатываемая конструкция позволит более эффективно использовать щетку при высокой степени износа, а также повысить надежность базового автомобиля в виде снижения нагрузки на трансмиссию и несущую конструкцию [4].

Таким образом, задачей данного исследования является разработка конструкции щетки центральной, позволяющей сократить затраты на содержание аэропорта и техники, снизить издержки в виду уменьшения времени уборки ВПП и обеспечить сокращения задержек при организации полетов.

### **Материал и методы**

Центральная щетка с гидравлическим приводом устанавливается на опорной раме и подвешивается с помощью механизма подъема, таким образом, что она опирается на аэродромное покрытие, независимо от движения транспортного средства и неровности поверхности [5].

Конструкция центральной щетки включает в себя следующие основные элементы:

1) щётка;

- 2) механизм подъёма;
- 3) механизм поворота;
- 4) колёса;
- 5) кожух передний;
- 6) кожух задний;
- 7) рама.

Также на щётку центральную устанавливаются элементы гидравлической системы:

- гидравлические моторы вращения щётки;
- гидравлические цилиндры (ГЦ) подъёма/опускания;
- гидравлические цилиндры прижима;
- гидравлический цилиндр поворота;
- гидравлические цилиндры прижима скребков.

### **Теория / Расчет**

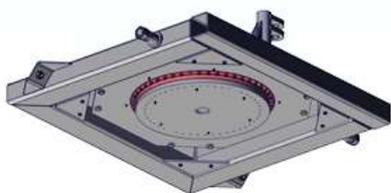
Таким образом, разработка конструкции щеточного узла является задачей, требующей комплексного подхода к созданию основных элементов конструкции. Разработанная математическая модель щетки с ворсом представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Математическая модель щетки с ворсом**



**Рисунок 2 – Математическая модель механизма подъема центральной щетки**



**Рисунок 3 – Математическая модель механизма поворота центральной щетки**

конструктивно включает в себя следующие узлы и элементы:

- силового каркаса;
- опорного подшипникового узла.

Для выполнения поворота в конструкции щётки предусмотрен гидравлический цилиндр, показанный на рисунке 4.

Узлы колес поворотных, показанные на рисунке 5, предназначены для вертикального опирания элементов центральной щетки на поверхность дорожного покрытия, смягчения вертикальных колебаний при движении автотранспортного средства в процессе очистки, а

Цилиндрическая форма очистной щетки обеспечивается наборными рядами кассет с ворсом, которые устанавливаются в пазы цилиндрического горизонтального вала и обеспечивают очистку поверхности дорожного полотна при движении автотранспортного средства [6].

Механизм подъема цилиндрической щетки, показанный на рисунке 2, обеспечивает вертикальное перемещение (подъем и опускание) её элементов при смене рабочего и транспортного режимов эксплуатации, а также служит для регулирования величины прижатия ворса щетки (площади поверхности контакта) при очистке дорожного полотна [7].

Перемещение щетки в вертикальном направлении происходит посредством гидравлических цилиндров, отображенных на рисунке 2.

Механизм поворота, показанный на рисунке 3, предназначен для поворота центральной щетки относительно вертикальной оси посредством усилия от гидравлического цилиндра при ее нахождении в рабочем положении при очистке а также для складывания центральной щетки внутрь кузова при ее переводе в транспортное положение [8-10].

Механизм поворота щетки центральной

также автоматического выравнивания направления своего продольного движения при поворотах щетки в рабочем режиме [11-13].



Рисунок 4 – Положение ГЦ поворота щётки центральной в составе щётки центральной



Рисунок 5 – Математическая модель узла колеса поворотного



Рисунок 6 – Математическая модель защитного кожуха

Предотвращение контакта с профилем и продуктами очистки работающей центральной щетки в вертикальном направлении обеспечивается верхним защитным листом.

Предотвращение взаимодействия с профилем и продуктами очистки работающей центральной щетки в фронтальном направлении по ходу движения, обеспечивается наклонным кожухом передним [16-18].

Основным назначением рамы, показанной на рисунке 7, является обеспечение несущей способности и прочности конструкции щетки центральной, а также размещение на себе дополнительных конструктивных элементов и узлов.

Силовая часть Рамы щетки представлена балкой, с приваренными боковыми пластинами, предназначенными для закрепления оси цилиндрической щетки.

На балке приварены консольно кронштейны крепления оси (круглой трубы) щеточного узла. Ось предназначена для придания дополнительной поперечной жесткости силовой конструкции щетки. На ней располагаются четыре круговые проушины для крепления верхних и нижних тяг щетки, а также штоковых частей боковых ГЦ [19,20].

Привод на основе гидравлических моторов, редукторов и передаточных механизмов, показанный на рисунке 8, обеспечивает вращение щетки центральной с заданной угловой скоростью и усилием в процессе очистки дорожного полотна.

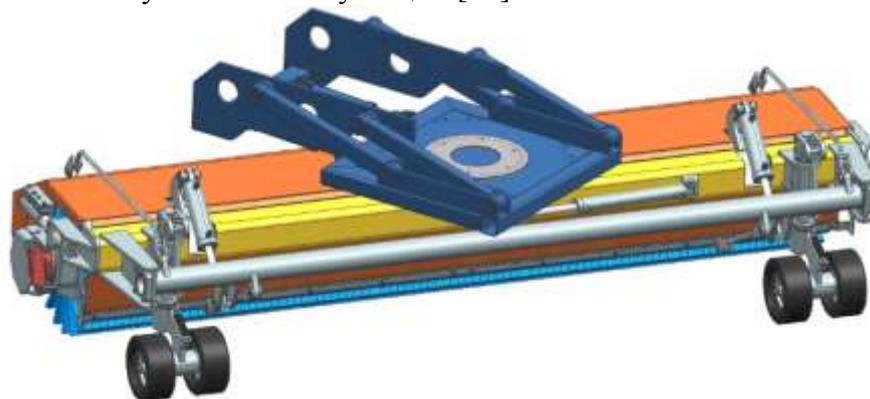


Рисунок 7 – Математическая модель рамы щётки центральной



Рисунок 8 – Гидравлический привод вращения щетки

Щеточный узел в сборе, показанный на рисунке 9, позволяет проводить уборочные работы ВПП, ПД, МС и прилегающих территорий аэропорта как в летний, так и в зимний период времени. Конструкция позволяет передавать крутящий момент посредством гидравлического мотора, поднимать и поворачивать щетку, а также прижимать и отжимать защитный кожух в зависимости от условий эксплуатации [21].



*Рисунок 9 – Математическая модель щеточного узла в сборе*

### **Результаты и обсуждение**

Разработанная математическая модель основных элементов конструкции центральной щетки позволит дорабатывать ее эксплуатационные показатели в зависимости от предполагаемых условий эксплуатации и предъявляемых требований. Уборка ВПП, РД, МС и прилегающих территорий аэропорта требует высокого качества и эффективности выполнения уборочных работ, так как эти показатели напрямую влияют на безопасность авиационного сообщения и количество издержек, возникающих в результате проведения уборочных работ в сложных условиях окружающей среды, например, при снегопаде.

В дальнейшем, при работе с данной математической моделью является возможным ее адаптация к эксплуатации на дорогах общего пользования, а также иных территориях специального назначения, качество и производительность уборки которых является ключевым критерием, предъявляемым к уборочной технике.

### **Вывод**

В результате проведенного исследования разработана конструкция щеточного узла, включающая в себя цилиндрическую щетку, раму, механизм подъема и поворота, узел колес поворотных, защитный кожух и систему привода. Разработанная конструкция позволит повысить эксплуатационные характеристик базового автомобиля за счет снижения нагрузки на трансмиссию и несущую конструкцию. Помимо этого, ожидается увеличение производительности и качества уборки ВПП, РД, МС и прилегающих территорий аэропорта за счет улучшения эксплуатационных показателей щетки центральной как с новым, так и изношенным в значительной степени ворсом.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Жаров В.П., Рыбак А.Т., Корчагин А.В. Динамическая модель гидромеханической системы аэродромной уборочной машины // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. – №2(134). – С. 68-73.
2. Вдовкин С.В., Крючин П.В. Исследование качества высева дисково-щеточного высевающего аппарата // Вклад молодых ученых в аграрную науку: материалы Международной научно-практической конференции. – Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия. - 2015. – С. 259-262.
3. Карелина М.Ю., Титов Н.В., Коломейченко А.В. и др. Импортзамещающая технология восстановления и упрочнения рабочего оборудования строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины. – 2015. – №8. – С. 34-37.
4. Тарасов С.Н., Черняев А.С. Разработка методики лабораторных исследований для обоснования конструктивно-технологических параметров распределительного устройства // Вклад молодых ученых в аграрную науку: материалы Международной научно-практической конференции. – Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия. - 2015. – С. 346-352.
5. Карелина М.Ю., Петровская Е.А., Пыдрин А.В. Оптимизация ингибированного состава для обеспечения сохранности сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 121. – С. 89-93.

6. Кустарев Г.В., Жуков С.И. Результаты экспериментальных исследований по созданию перспективных инженерно-дорожных машин // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – №4(59). – С. 46-55.
7. Сухарникова В.А., Чиграй В.С., Шиленок О.В. Конструктивные особенности эксплуатации щеток коммунальной уборочной техники // Современные прикладные исследования: Материалы третьей национальной научно-практической конференции. – Шахты: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. - 2019. – С. 160-164.
8. Борзилов В.Н. Теоретическое обоснование отвальной поверхности плуга с наклонным лемехом // Научный вестник государственного образовательного учреждения Луганской Народной Республики «Луганский национальный аграрный университет». – 2019. – №6-1. – С. 211-219.
9. Основы теории автотракторных двигателей: Рекомендовано Министерством общего и профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Механизация сельского хозяйства», «Сервис и техническая эксплуатация транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования в сельском хозяйстве» / Ю.А. Ганькин, М.Ю. Карелина, В.А. Кравченко, В.Г. Яровой. – Москва: РГАЗУ, 1997. – 304 с.
10. Ершов В.С., Птицын Д.А., Акулов А.А., Махмудов З.М. Рассмотрение срока службы автомобиля с точки зрения технологии управления жизненным циклом изделия // Технологии информационного общества: Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». – Москва: ООО «Издательский дом Медиа паблишер». - 2021. – С. 126-127.
11. Гриб В.В., Карелина М.Ю., Петрова И.М., Филимонов М.А. Разработка алгоритма прогнозирования и мониторинга ресурса механических систем // Современные проблемы теории машин. – 2013. – №1. – С. 77-79.
12. Финансы автотранспортной и дорожной отраслей в условиях цифровизации экономики / Е.В. Алексеенко, Л.С. Артамонова, С.П. Бочков и др. – Москва: ООО «Русайнс», 2020. – 244 с.
13. Ершов В.С., Хамков А.А., Акулов А.А., Шадрин С.С. Исследования углов крена автомобиля при прохождении поворотов в зависимости от изменения его массы // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2020. – №4(26). – С. 1.
14. Ершов В.С., Акулов А.А., Карелина М.Ю. Разработка мобильной установки для оцинковывания элементов металлических конструкций автомобильно-дорожной инфраструктуры // Наука и творчество: вклад молодежи: Сборник материалов всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Махачкала: Типография ФОРМАТ, 2020. – С. 212-215.
15. Лепеш А.Г., Лепеш Г.В. Математическое моделирование силового взаимодействия щеток коммунальных машин с дорожным покрытием // Техно-технологические проблемы сервиса. – 2010. – №3(13). – С. 32-38.
16. Iudin M., Prusov E., Roshchina S., Karelina M., Vatin N. Multi-span composite timber beams with rational steel reinforcements // Buildings. - 2021. - №2. - С. 1-12.
17. Ахвледиани Х.Д. Определение рациональных конструкций и режимов работы цилиндрических подметальных щеток для малогабаритных машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1994. – 31 с.
18. Панько Ю.В., Мьялина Н.Ж., Болдырева Т.В. Функциональные области управления предприятием: монография. – Саратов: Амирит, 2020. – 126 с.
19. Mamaev A., Balabina T., Karelina M. Method for determining road rut depth and power related to rutting upon wheel rolling // TRANSPORTATION RESEARCH PROCEDIA 14: 14th international conference on organization and traffic safety management in large cities, OTS 2020. - 2020. - SPb: Elsevier B.V. - С. 430-435.
20. Ершов В.С., Птицын Д.А., Акулов А.А., Махмудов З.М. Применение коэффициентов относительной важности при восстановлении деталей наземных транспортных средств // Технологии информационного общества: Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». – Москва: ООО «Издательский дом Медиа паблишер». - 2021. – С. 123-125.
21. Kostyuk I.V., Yershov V.S., Akulov A.A., Volkov A.O. Design calculation of bevel gears with a circular tooth // 2021. – P. 31-34.

**Никитин Дмитрий Александрович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64

Заместитель начальника УНИР

E-mail: d.nikitin@madi.ru

---

D.A. NIKITIN

## SPECIAL VEHICLE FUNCTIONAL PART MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT

**Abstract:** *The article discusses the features of the operation of the airfield. The basic principles of operation of special purpose vehicles when cleaning runways in winter are given. The special importance of productivity and quality of work performed on the territory of the airfield, performed with the use of a brush unit, is determined. The main structural elements and drive systems of the central brush of a special cleaning car are revealed. As a result of the research, the main structural elements and the drive system of the cylindrical brush, lifting and clamping mechanism have been developed.*

**Keywords:** *central brush, structural elements, special car, lifting mechanism, turning mechanism, flight safety, airport*

BIBLIOGRAPHY

1. Zharov V.P., Rybak A.T., Korchagin A.V. Dinamicheskaya model gidromekhanicheskoy sistemy aerodromnoy uborochnoy mashiny // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki. - 2006. - №2(134). - S. 68-73.
2. Vdovkin S.V., Kryuchin P.V. Issledovanie kachestva vyseva diskovo-shchiotochnogo vysevayushchego appa-rata // Vklad molodykh uchenykh v agrarnuyu nauku: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Kinel': Samarskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya. - 2015. - S. 259-262.
3. Karelina M.Yu., Titov N.V., Kolomeychenko A.V. i dr. Importozameshchayushchaya tekhnologiya vostanovleniya i uprochneniya rabocheho oborudovaniya stroitel'nykh i dorozhnykh mashin // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. - 2015. - №8. - S. 34-37.
4. Tarasov S.N., Chernyaev A.S. Razrabotka metodiki laboratornykh issledovaniy dlya obosnovaniya konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov raspredelitel'nogo ustroystva // Vklad molodykh uchenykh v agrarnuyu nauku: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Kinel': Samarskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya. - 2015. - S. 346-352.
5. Karelina M.Yu., Petrovskaya E.A., Pydrin A.V. Optimizatsiya ingibirovannogo sostava dlya obespecheniya sokhranayemosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki // Trudy GOSNITI. - 2015. - T. 121. - S. 89-93.
6. Kustarev G.V., Zhukov S.I. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy po sozdaniyu perspektivnykh inzhenerno-dorozhnykh mashin // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). - 2019. - №4(59). - S. 46-55.
7. Sukharnikova V.A., Chigray V.S., Shilenok O.V. Konstruktivnye osobennosti ekspluatatsii shchiotok kommunal'noy uborochnoy tekhniki // Sovremennye prikladnye issledovaniya: Materialy tret'ey natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Shakhty: Yuzhno-Rossiyskiy gosudarstvennyy politekhnicheskii universitet (NPI) imeni M.I. Platova. - 2019. - S. 160-164.
8. Borzilov V.N. Teoreticheskoe obosnovanie otval'noy poverkhnosti pluga s naklonnym lemkom // Nauchnyy vestnik gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya Luganskoy Narodnoy Respubliki «Luganskiy natsional'nyy agrarnyy universitet». - 2019. - №6-1. - S. 211-219.
9. Osnovy teorii avtotraktornykh dvigateley: Rekomendovano Ministerstvom obshchego i professio-nal'nogo obrazovaniya v kachestve uchebnogo posobiya dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po spetsial'nostyam «Mekhanizatsiya sel'skogo khozyaystva», «Servis i tekhnicheskaya ekspluatatsiya transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i oborudovaniya v sel'skom khozyaystve» / Yu. A. Gan'kin, M. Yu. Karelina, V.A. Kravchenko, V. G. Yarovoy. - Moskva: RGAZU, 1997. - 304 s.
10. Ershov V.S., Ptitsyn D.A., Akulov A.A., Makhmudov Z.M. Rassmotrenie sroka sluzhby avtomobilya s tochki zreniya tekhnologii upravleniya zhiznennym tsiklom izdeliya // Tekhnologii informatsionnogo obshchestva: Sbornik trudov XV Mezhdunarodnoy otraslevoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnologii informatsionnogo obshchestva». - Moskva: OOO «Izdatel'skiy dom Media publisher». - 2021. - S. 126-127.
11. Grib V.V., Karelina M.Yu., Petrova I.M., Filimonov M.A. Razrabotka algoritma prognozirovaniya i monitoringa resursa mekhanicheskikh sistem // Sovremennye problemy teorii mashin. - 2013. - №1. - S. 77-79.
12. Finansy avtotransportnoy i dorozhnoy otrasley v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki / E.V. Alekseenko, L.S. Artamonova, S.P. Bochkov i dr. - Moskva: OOO «Rusayns», 2020. - 244 s.
13. Ershov V.S., Hamkov A.A., Akulov A.A., Shadrin S.S. Issledovaniya uglov krena avtomobilya pri prokhozhdenii povorotov v zavisimosti ot izmeneniya ego massy // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. - 2020. - №4(26). - S. 1.
14. Ershov V.S., Akulov A.A., Karelina M.YU. Razrabotka mobil'noy ustanovki dlya otsinkovyvaniya elementov metallicheskh konstruktsiy avtomobil'no-dorozhnoy infrastruktury // Nauka i tvorchestvo: vklad molodezhi: Sbornik materialov vserossiyskoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. - Makhachkala: Tipografiya FORMAT, 2020. - S. 212-215.
15. Lepesh A.G., Lepesh G.V. Matematicheskoe modelirovanie silovogo vzaimodeystviya shchetok kommunal'nykh mashin s dorozhnym pokrytiem // Tekhniko-tekhnologicheskoe problemy servisa. - 2010. - №3(13). - S. 32-38.
16. Iukin M., Prusov E., Roshchina S., Karelina M., Vatin N. Multispan composite timber beams with rational steel reinforcements // Buildings. - 2021. - №2. - S. 1-12.
17. Akhvediani H.D. Opredelenie ratsional'nykh konstruktsiy i rezhimov raboty tsilindricheskikh podmetal'nykh shchetok dlya malogabaritnykh mashin: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. - M., 1994. - 31 s.
18. Pan'ko Yu.V., Myavlina N.Zh., Boldyreva T.V. Funktsional'nye oblasti upravleniya predpriyatiem: monografiya. - Saratov: Amirit, 2020. - 126 s.
19. Mamaev A., Balabina T., Karelina M. Method for determining road rut depth and power related to rutting upon wheel rolling // TRANSPORTATION RESEARCH PROCEDIA 14: 14th international conference on organization and traffic safety management in large cities, OTS 2020. - 2020. - SPb: Elsevier B.V. - S. 430-435.
20. Ershov V.S., Ptitsyn D.A., Akulov A.A., Makhmudov Z.M. Primenenie koeffitsientov otnositel'noy vazhnosti pri vosstanovlenii detaley nazemnykh transportnykh sredstv // Tekhnologii informatsionnogo obshchestva: Sbornik trudov XV Mezhdunarodnoy otraslevoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnologii informatsionnogo obshchestva». - Moskva: OOO «Izdatel'skiy dom Media publisher». - 2021. - S. 123-125.
21. Kostyuk I.V., Yershov V.S., Akulov A.A., Volkov A.O. Design calculation of bevel gears with a circular tooth // 2021. - P. 31-34.

**Nikitin Dmitriy Aleksandrovich**

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64

Deputy head of the department of scientific research

E-mail: d.nikitin@madi.ru

Научная статья

УДК 656.11

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-34-42

Е.В. КИРИЛЛОВА, Е.В. БУДРИНА

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЫДЕЛЕННЫХ ПОЛОС ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ GPS-ТРЕКЕРОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

***Аннотация.** Исследована эффективность функционирования выделенных полос (ВП) Санкт-Петербурга. Для определения эффективности выделенных полос для общественного транспорта разработан алгоритм на основе GPS-трекеров бортового оборудования подвижного состава. Для расчетов показателей скорости и времени по координатам предложена формула. Полученные результаты были подтверждены натурными исследованиями и имитационным моделированием. Алгоритм может использоваться как для функционирующих ВП, так и для проектирующихся. Реализация разработанного алгоритма позволит сэкономить средства городского бюджета за счет низких себестоимости и трудозатрат.*

***Ключевые слова:** выделенные полосы, анализ эффективности, алгоритм, GPS-трекеры, проектирование полос для общественного транспорта*

### **Введение**

Санкт-Петербург активно развивается, показывая высокую динамику постройки новых объектов инфраструктуры, застройки свободной территории, строительства новых районов. Плотность транспортных потоков увеличивается, существенно ухудшая движение по дорогам и снижая уровень безопасности при осуществлении перевозочной деятельности.

### **Материал и методы**

В качестве развития улично-дорожной сети и попытки решения проблемы заторов Правительством Санкт-Петербурга был предпринят ряд действий, таких как строительство мостов и развязок, открытие новых станций метро, платной дороги, кольцевой автодороги. Также были реализованы мероприятия по строительству перехватывающих парковок, введению участков дорог с реверсивным движением; установлены зоны платной парковки, перераспределены ширины полос движения, введены ВП движения для городского пассажирского транспорта. Перечисленные меры позволили сократить трафик транспортных средств (ТС), но не решили проблему заторов полностью. Так, введение ВП не показывает необходимой разгрузки транспортного потока. Эффективность снижена по причине частых нарушений правил дорожного движения владельцами личных автомобилей. Также низкая эффективность может быть следствием неверного планирования маршрутов ВП. Выявление и дальнейшее решение причин неэффективности позволит оптимизировать транспортный поток и минимизировать заторы.

### **Теория**

Первыми ВП в Санкт-Петербурге были - дорога в аэропорт по Пулковскому шоссе, участки на Кантемировской улице, проспекте Медиков и Ленинском проспекте. На выделенных участках кроме разметки ничего не было предусмотрено, поэтому полоса была условной для участников движения, и водители личного автотранспорта регулярно нарушали правила дорожного движения, передвигаясь по полосам для общественного транспорта. Помимо нарушений правил были выявлены такие проблемы, как: непродуманность транспортного потока после внедрения полос; отсутствие парковочных мест вблизи ВП; скопление такси и маршрутных автобусов в местах притяжения жителей, в том числе на остановках общественного транспорта [1-4].

Стратегия развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской обла-

сти на период до 2030 года предусматривает введение новых ВП, для эффективной работы которых необходимо проводить тщательное исследование маршрутов на этапе проектирования [1, 5, 6]. Для этих целей был разработан алгоритм анализа эффективности работы ВП на основе GPS-трекеров бортового оборудования подвижного состава. Разработанный алгоритм (рис. 1) позволяет не только проектировать новые полосы с учетом реальных данных существующей на маршруте интенсивности движения, но и определять эффективность существующей ВП.

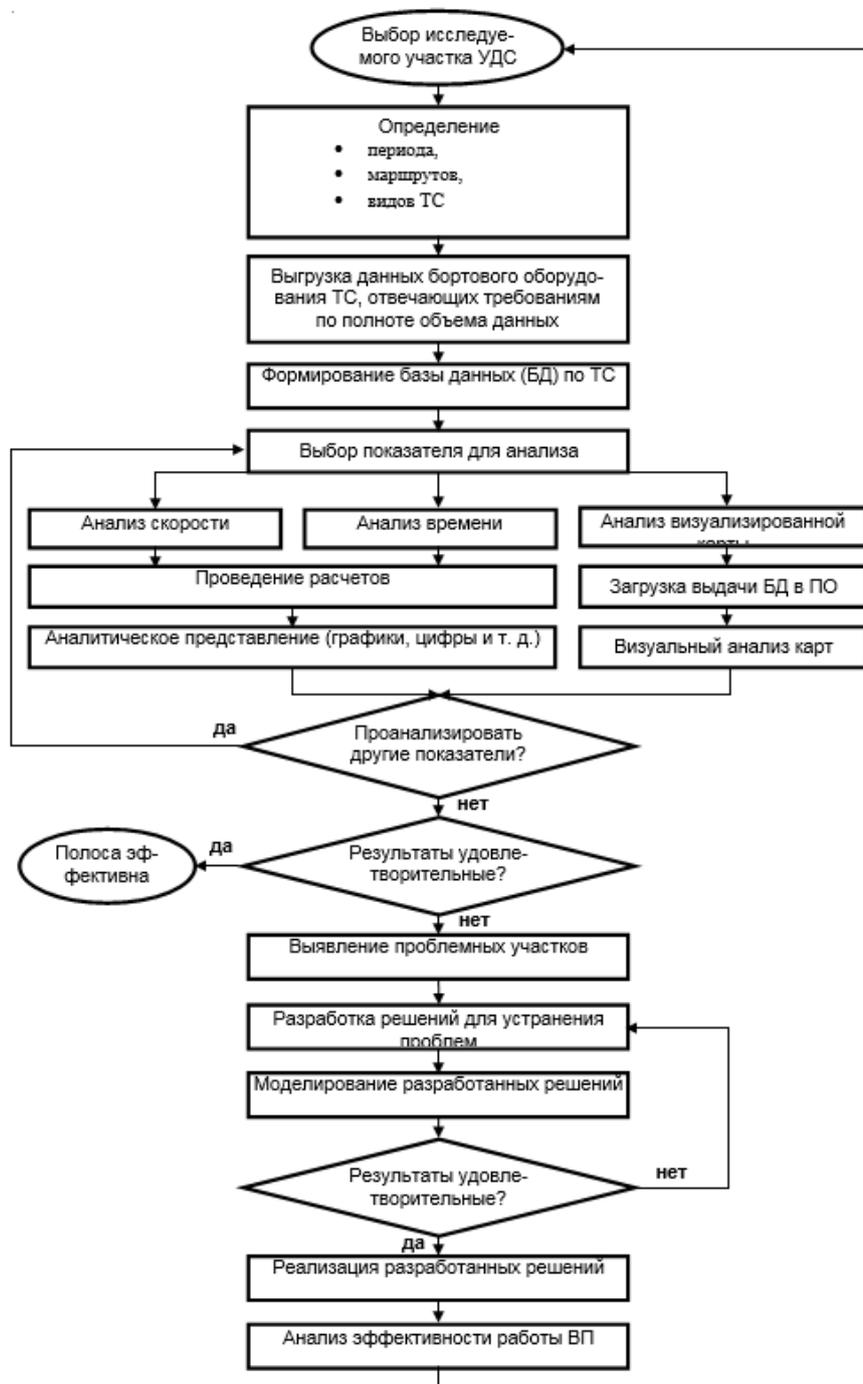


Рисунок 1 – Алгоритм анализа эффективности ВП

1 На первом этапе реализации алгоритма необходимо выбрать участок улично-дорожной сети для исследования.

2 На втором этапе определяются условия исследования:

- период исследования. Период определяют, исходя из максимальной нагрузки на маршрутную сеть выбранного участка, учитывая предпраздничные дни, сезонность, выход-

ные и будние дни. Для анализа не рекомендуется выбирать выходные дни в связи со снижением выпуска ТС, также не подходят праздничные дни, так как в указанные дни осуществляется ввод дополнительных нарядов, которые могут исказить полученные данные и не будут реалистичны при рассмотрении года.

- номера маршрутов и вид ТС, проходящих по выбранному участку, для сбора навигационных данных. В случае если на выбранном участке нет прямого маршрута следования, для сбора данных можно использовать пересекающие маршруты следования по участку. В случае отсутствия на предполагаемом участке маршрутов движения общественного транспорта необходимо обозначить маршрут движения и определить вид ТС, используемых для сбора данных с обязательной установкой на борт навигационного блока.

- бортовые и государственные номера ТС, интересующих маршрутов, фактически выходящих в рейсы за этот период. Это необходимо для того, чтобы из всего объема передаваемых данных выбрать именно требуемые данные для анализа.

3 Далее необходимо получить первичные данные и определить достаточно ли их объема для проведения анализа или нет. В случае недостаточности данных необходимо осуществить пересмотр рассматриваемой выборки ТС.

4 Полученные данные о геотреках с выбранных ТС загрузить в разработанную базу данных для последующего анализа.

5 Далее выбирается тип анализа и вид показателя, который необходимо проанализировать.

5.1 В случае необходимости визуализации полученных данных в части построения точек на карте и отслеживания каждого участка, весь объем данных грузится в ПО, например, *QGIS* и визуализируются на карте (отображается плотность размещенных точек или «тепловая» карта).

5.2 В случае необходимости расчета времени прохождения участка с разбивкой по точкам движения, данные обрабатываются согласно предложенной формуле. В результате можно проанализировать как суммарное время прохождения участка, так и прохождение отдельных выбранных участков, что позволяет более детально обследовать каждый отрезок ВП и определить зоны торможения и замедления движения, а также рассчитать среднее время прохождения участков.

5.3 В случае необходимости расчетов скорости прохождения участка с разбивкой по точкам движения, данные грузятся в ПО с проведением расчетов, согласно предложенной формуле. В результате можно проанализировать скорость движения на том или ином участке и оценить качество выполнения транспортной реформы посредством достижения нормативов по скорости, а также дает возможность предположить скорость оказания экстренной помощи в случае движения по ВП соответствующих служб.

6 При необходимости детального анализа выбранного участка в предлагаемом алгоритме дополнительно используют этапы 5.2, 5.3, при котором после проведенных расчетов загруженных данных, в базе данных появляются данные с расчетами скорости и времени между двумя точками, что позволяет провести анализ выбранного участка как в общем, так и с детализацией до масштабирования данных между двумя геоточками (20-50 см).

Подобный анализ позволяет получить среднюю скорость или время прохождения выбранного участка, построить графики движения для отслеживания изменения скорости и времени прохождения между точками. Данные по времени и скорости можно использовать для планирования графика работы ТС и планирования нарядов выпуска в будущем.

7 При получении положительных результатов анализа алгоритм завершается, а ВП считается эффективной.

8 В случае получения неудовлетворительных результатов обследования по пунктам 5.1, 5.2, 5.3 обследуемого участка необходимо продолжить анализ рассматриваемого участка.

9 Далее необходимо провести натурное исследование анализируемого участка. При анализе используются данные о проблемных участках, полученные по п. 5.1, 5.2, 5.3 для того, чтобы не проходить весь участок, а обследовать точно участки, на которых происходит

снижение скорости и времени; определить, что затрудняет движение транспорта и снижает эффективность ВП.

Дополнительно снимаются данные о количестве транспорта с разбивкой по виду ТС (без учета ТС экстренных служб МЧС, полиция, пожарная, скорая помощь и т. д.) и периоду времени (утро, обед, вечер) для расчета параметра интенсивности движения для построения имитационной модели.

10 По полученным данным производится группировка проблем и разработка решений для их устранения. По каждому участку разрабатываются предложения по повышению скорости движения по ВП, разрабатываются мероприятия по изменению дорожной разметки, перенаправлению потоков движения; установки дорожных знаков, камер фиксации ПДД, светофоров; настройка времени работы светофоров, оптимизация движения пешеходов и т. д.

11 В результате полученных данных по пункту 9 и разработанных предложений по пункту 10 производится моделирование предлагаемых решений и анализ изменений. Определяется будут ли эффективны предлагаемые решения. Для этого в специализированное программное обеспечение для моделирования вносятся данные по существующему движению ТС и строится визуальная модель. Затем в визуальную модель с такой же интенсивностью движения вносятся предлагаемые решения по повышению эффективности ВП и строится новая модель.

12 На следующем этапе производится сравнение полученных моделей по интенсивности движения потока ТС, скорости и времени прохождения участков. В случае получения положительных результатов предлагаемые решения необходимо использовать в рассмотрении для изменений существующего участка ВП. В случае получения отрицательных результатов необходимо вернуться к пункту 10 и рассмотреть иные варианты решения проблем.

13 При реализации предлагаемых решений на анализируемом участке и запуске движения общественного транспорта для подтверждения эффективности предлагаемого алгоритма необходимо повторить данный анализ с пункта 2 и в случае получения положительного эффекта в пункте 7, предлагаемые решения считаются эффективными.

Разработанный алгоритм был апробирован на участке ВП города Санкт-Петербург протяженностью 6,77 и 6,37 в обе стороны по пр. Маршала Блюхера, Кантемировской ул., пр. Медиков, Большому пр. П.С. и Большой Пушкарской ул.

Обработка полученных данных была произведена в геоинформационной системе *QGIS* версии 3.12 [7]. Программное обеспечение позволяет работать с векторными слоями и объектами, взаимодействует с любой операционной системой и интуитивно понятна для пользователей. Визуализация данных представлена на рисунке 2.

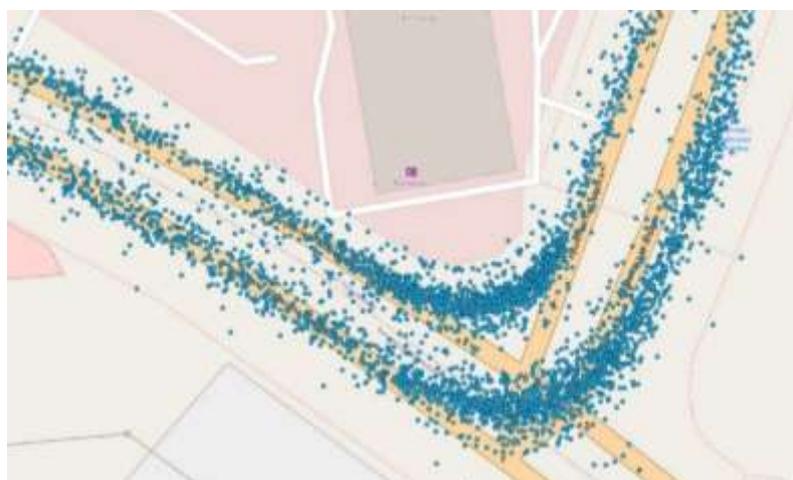


Рисунок 2 – Визуальное отображение полученных данных в *QGIS*

Используя дополнительный функционал системы *QGIS*, была построена тепловая карта, представленная на рисунке 3.



Рисунок 3 – Тепловая карта анализируемого участка ВП

Визуализация на тепловой карте позволяет определить участки плотности скопления треков, получаемых с ТС. Данные участки показывают повышенное количество переданных данных с точки и говорят о замедлении скорости ТС на данных участках.

Для проведения анализа скорости и времени прохождения участков маршрута была предложена формула расчета. Структура данных геотреков содержит информацию координат каждой точки с указанием широты и долготы, а также времени нахождения в данной точке. Зная координаты двух соседних точек, можно рассчитать расстояние между ними, а с помощью использования значения времени рассчитать скорость прохождения участка между точками.

Каждая точка маршрута находится на сфере, которой является планета Земля. Для расчета кратчайшего расстояния между координатами (точками) на сфере используют уравнение, которое применяется также в навигации [8-12]. Из исследованных формул наиболее применима формула расчетов сферического расстояния, используемая в теореме сферических косинусов:

$$\Delta\sigma = \arccos\{\sin\phi_1\sin\phi_2 + \cos\phi_1\cos\phi_2\cos\Delta\lambda\},$$

где  $\Delta\sigma$  – угловая разница;

$\phi_1, \lambda_1; \phi_2, \lambda_2$  – широта и долгота двух точек в радианах;

$\Delta\lambda$  – разница координат по долготе.

Наглядно значение формулы представлено на рисунке 4.

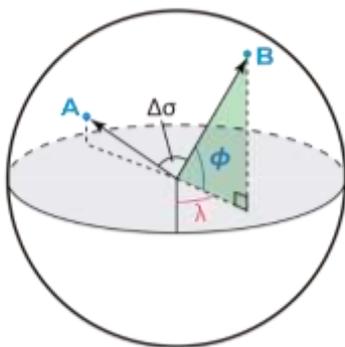


Рисунок 4 – Нахождение формулы сферических косинусов

Для преобразования данных в единицы измерения – километры, полученное расстояние в углах необходимо перемножить на радиус Земли - 6400 км. Данная формула позволяет вычислить значения скорости, расстояния и времени прохождения участка. Данный расчет необходимо провести для всех точек маршрута и всех ТС [13-15]. По полученным значениям строятся графики скорости и времени с привязкой к точкам маршрута, которые необходимо проанализировать. Построение графиков производилось в программе MS Excel, пример построенных графиков показан на рисунке 5.

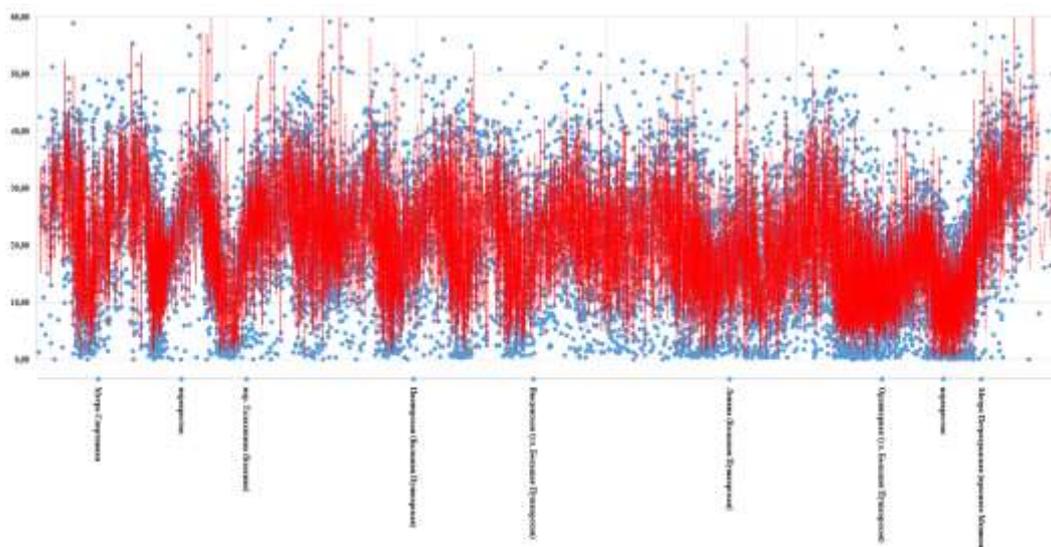


Рисунок 5 – График скорости движения ТС по отрезку, октябрь 2019 г.

Визуализация данных позволяет выявить участки замедления движения. Нисходящие линии между отмеченными точками (остановочные пункты и перекрестки) указывают на снижение скорости по пути следования [16]. По аналогии строятся графики времени прохождения участков пути в зависимости от времени дня. Пример построенного графика показан на рисунке 6.

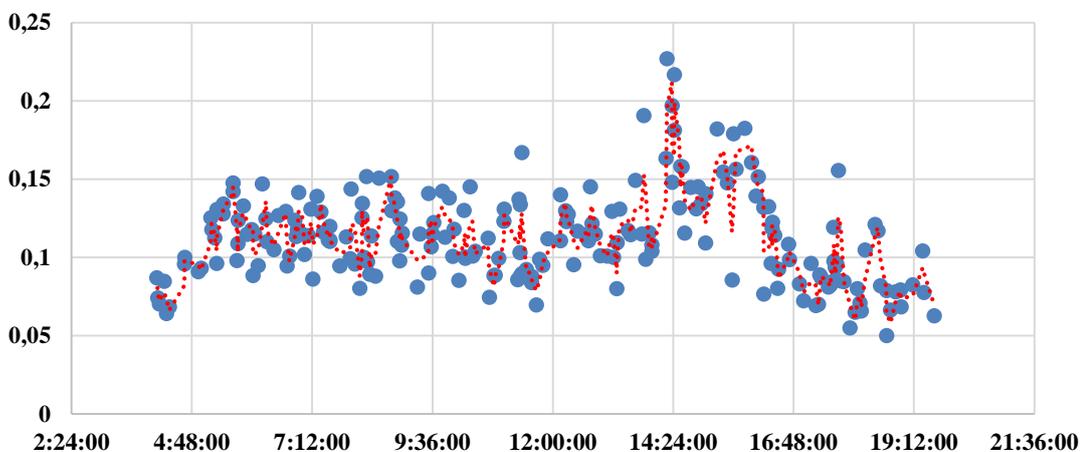


Рисунок 6 – График времени прохождения участка в зависимости от времени суток

### Результаты и обсуждение

В результате обработки данных по каждому отрезку маршрута можно определить, на каких именно происходит замедление движения ТС или длительная стоянка [17]. Изучив рисунок, можем увидеть, что в утренние часы с 07:00 до 09:00 ТС проходит участок примерно за 6 минут ( $60 \text{ минут} * 0.1 = 6$ ), а с 14:00 до 17:00 наблюдается увеличение времени прохождения до 12 минут. В случае регулярных замедлений на одном и том же участке, необходимо обследовать данную точку, натурно или, используя архив видеоданных, хранимых в ТС. Это позволит оперативно и детально дать заключение об участке [18].

Разработанный алгоритм анализа имеет ряд преимуществ. Рассмотрим основные из них.

1 Минимальные трудовые, временные, финансовые затраты для сбора данных. Для сбора первичных для анализа данных необходимо выгрузить координаты *GPS*-треков из установленного бортового оборудования пассажирского автотранспорта. В сравнении со сбором данных при натурном исследовании, а также осмотре данных видеокамер [9], разработанный метод отличается минимальными временными затратами, трудовыми (нет необходимости привлекать дополнительных работников) и, соответственно, финансовыми.

2 Точность и объективность анализируемых и расчетных данных. При получении первичных данных отсутствует так называемый «человеческий фактор», поскольку происходит

выгрузка фактических координат и данных о времени со спутника. Среди выгруженных координат могут случаться выбросы, которые на этапе статистической обработки отсекаются и не анализируются. При обработке данных и построении графиков или карт так же отсутствует «человеческий фактор». Для достижения большей объективности необходимо рассматривать данные с более, чем одно ТС. Для существующих ВП целесообразно брать в расчет все ТС, проходящие по маршруту.

3 Актуальность анализируемых данных. Данные для анализа берутся, исходя из поставленных задач. В случае достижения договоренностей с предприятиями-перевозчиками данные можно брать в любой необходимый момент времени, можно повторять анализ с требуемой периодичностью, например, до и после ремонтных работ и т. д.

4 Минимальная стоимость обработки данных. В сравнении с ручным внесением данных при натурном исследовании и расшифровке данных с камер видеонаблюдения, полученные данные загружаются и обрабатываются с помощью отработанных алгоритмов, тем самым экономя человеко-часы и, соответственно, экономя бюджет предприятия.

5 Возможность проведения анализа по различным показателям – время, скорость. Возможность отображения визуализированного транспортного потока на карте. В зависимости от поставленных задач, как, например, обеспечение определенной средней скорости для движения пассажирского автотранспорта, согласно Транспортной реформе, выбирается необходимый показатель для анализа.

6 Возможность применения алгоритма на любом этапе ВП, в том числе и для функционирующих. Разработанный алгоритм может применяться как на моменте проектирования ВП (позволяет оценить скорость ТС, рассчитать оптимальное время подхода к остановкам, определить реорганизуемые мероприятия на тормозящих участках), так и для определения эффективности функционирующих ВП.

Описанные преимущества позволят более эффективно проектировать и эксплуатировать ВП [19]. В случае применения на этапе планирования использование алгоритма поможет сэкономить бюджетные средства за счет актуальности и объективности данных для проектирования. Эффективное планирование позволит минимизировать затраты на доработки и дооборудование транспортной инфраструктуры в дальнейшем.

Достоверная оперативная информация о времени прохождения маршрутов ТС в течение дня, позволит формировать графики движения общественного транспорта. Повышенная скорость автобусов и соответствие графику движения общественного транспорта позволит перевозить большее количество пассажиров, сократить время простоя транспорта в заторах и сэкономить топливо [20].

Стоит также заметить, что помимо рассмотренных положительных сторон есть и некоторые минусы. Для обработки данных потребуется приобретение мощного компьютерного оборудования, а также серверные мощности для хранения данных. В случае определения ВП неэффективной требуются дополнительные натурные исследования и работы по моделированию, которые требуют определенных временных затрат [21]. Для реализации и внедрения разработанного алгоритма в работу городских структур необходимо преодолеть юридические барьеры в отношении получения данных от предприятий-перевозчиков.

### **Выводы**

Разработанный алгоритм оценки рекомендуется для внедрения в Комитете по транспорту Правительства Санкт-Петербурга в рамках используемой государственной информационной системы АСУ ГПТ, разработанной и применяемой для управления общественным транспортом с использованием навигационных блоков, оперативного отображения движения ТС на карте, в центре диспетчерского управления, для передачи данных на транспортный портал [10], мобильные приложения пользователей, умные остановки и табло прибытия ТС.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Официальный сайт Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга. Выделенные полосы для общественного транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://krti.gov.spb.ru/dorozhnyj-kompleks/vydelennye-polosy/>
2. Официальный сайт СПб ГКУ «Дирекция по организации дорожного движения Санкт-Петербург» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gudodd.ru/>

3. Официальный сайт Портал общественного транспорта Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://transport.org.spb.ru/Portal/transport/main>
4. Фомин Е.В., Зеер В.А., Арефьева Е.С., Голуб Н.В. Обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования на улично-дорожной сети города // Вестник СибАДИ. 2020. №3 (73). – с. 390-399.
5. Комплексная схема организации дорожного движения Санкт-Петербурга на период до 2033 года // Комитет по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга – 2019. – 136 с.
6. Официальный сайт Министерства экономического развития Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://economy.gov.ru/>
7. Официальный сайт компании QGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.qgis.org/ru/site/index.html>
8. Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gis-lab.info/>
9. Керимов М.А., Сафиуллин Р.Н., Средства фото-видеофиксации нарушений ПДД: нормативное регулирование и практика применения // Москва - Берлин: Директ-Медиа – 2016. – 355 с.
10. Официальный сайт Единый Транспортный Портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://transport.mos.ru/>
11. Новиков А.Н., Иващук О.А., Васильева В.В. Управление воздействием потоков автотранспорта на качество акустической среды города на основе информационных технологий // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. – 2007. – № 4-16. – С. 226-232.
12. Марусин А.В. Методика оценки эффективности функционирования систем автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения: Дис. / Марусин А.В. - СПб ГАСУ, 2017. – 203 с.
13. Павлов С.Н., Грефенштейн А.П. Совершенствование методики оценки целесообразности введения выделенной полосы в крупных городах // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. - 2020. - №4(55). – С. 19-25.
14. Выделенные полосы в России. Рейтинг городов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://buslanes.ru/>
15. Mineta transportation institute. Shared-Use Bus Priority Lanes on City Streets: Case Studies in Design and Management [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://nacto.org/docs/usdg/shared\\_use\\_bus\\_priority\\_lanes\\_on\\_city\\_streets\\_agrawal.pdf](https://nacto.org/docs/usdg/shared_use_bus_priority_lanes_on_city_streets_agrawal.pdf)
16. Тарусова М.С., Ставцева А.А., Милина М.Ю., Васильева В.В. Опыт организации выделенных полос для общественного транспорта в России и в мире. // БУДУЩЕЕ НАУКИ-2020: Сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции ОГТУ имени И.С.Тургенева. - В 5-ти томах. - Том 5. – Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2020. - С. 177-180.
17. Белова А.М. Методика обоснования целесообразности выделения полос для движения маршрутного транспорта общего пользования: Автореф. дис. ... канд.техн.наук / Белова А.М. – Москва, 2014. – 23 с.
18. Жиркова А.А., Басов К.А., Ивлев В.Ю., Титова П.А. Обоснование введения выделенных полос для маршрутного пассажирского транспорта [Электронный ресурс] / Евразийский Союз Ученых. - 2016. - №1-2(22). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-vvedeniya-vydelennyh-polos-dlya-marshrutnogo-passazhirskogo-transporta>.
19. Яблоков Павел. Больше выделенных полос: в крупных городах озвучили планы на 2022 год по их вводу [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://tr.ru/news/4166-bolshe-vydelennyh-polos-v-krupnyh-gorodah-ozvuchili-planu-na-2022-god-po-ih-vvodu>
20. Шурупова А.В., Бутузова А.Б. Проблема Иркутска в области организации дорожного движения: отсутствие выделенных полос для общественного транспорта [Электронный ресурс] / Научный журнал. - 2018. - №4(27). - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-irkutska-v-oblasti-organizatsii-dorozhnogo-dvizheniya-otsutstvie-vydelennyh-polos-dlya-obshchestvennogo-transporta> (дата обращения: 24.12.2022).
21. Шлиппе И.И., Чернобаева Л.Е., Ахтеров А.В. Анализ эффективности создания выделенных полос для городских автобусных маршрутов [Электронный ресурс] / Автоматизация и управление в технических системах. – 2015. – № 3. – Режим доступа: [auts.esrae.ru/15-290](http://auts.esrae.ru/15-290).

**Кириллова Елена Васильевна**

Университет ИТМО

Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский

пр., д. 49

Магистрант

E-mail: [ev.kirillova@icloud.com](mailto:ev.kirillova@icloud.com)

**Будрина Елена Викторовна**

Университет ИТМО

Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский

пр., д. 49

Профессор, доктор экономических наук

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

E.V. KIRILLOVA, E.V. BUDRINA

## **ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE OPERATION OF ALLOCATED LANES FOR PUBLIC TRANSPORT BASED ON GPS-TRACKERS OF ROLLING STOCK ON-BOARD EQUIPMENT**

***Abstract.** The work of dedicated lanes of St. Petersburg is considered. To determine the efficiency of lanes for public transport, an algorithm based on GPS trackers of on-board equipment of rolling stock has been developed. To calculate the indicators of speed and time by coordinates, a formula for spherical distance is proposed, which is used in the theorem of spherical cosines. The results obtained were confirmed by natural studies and simulation modeling. The algorithm can be*

*used both for functioning VP and for those being designed. The implementation of the developed algorithm will save the city budget due to low cost and labor costs.*

**Keywords:** *dedicated lanes, efficiency analysis, algorithm, GPS trackers, lane design for public transport*

## BIBLIOGRAPHY

1. Ofitsial'nyy sayt Komiteta po razvitiyu transportnoy infrastruktury Sankt-Peterburga. Vydelennye polosy dlya obshchestvennogo transporta [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://krti.gov.spb.ru/dorozhnyj-kompleks/vydelennye-polosy/>
2. Ofitsial'nyy sayt SPb GKU «Direktsiya po organizatsii dorozhnogo dvizheniya Sankt-Peterburg» [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <http://gudodd.ru/>
3. Ofitsial'nyy sayt Portal obshchestvennogo transporta Sankt-Peterburga [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <http://transport.org.spb.ru/Portal/transport/main>
4. Fomin E.V., Zeer V.A., Aref'eva E.S., Golub N.V. Obespechenie prioriteta gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol'zovaniya na ulichno-dorozhnoy seti goroda // Vestnik SibADI. 2020. №3 (73). - S. 390-399.
5. Kompleksnaya skhema organizatsii dorozhnogo dvizheniya Sankt-Peterburga na period do 2033 goda // Komitet po razvitiyu transportnoy infrastruktury Sankt-Peterburga - 2019. - 136 s.
6. Ofitsial'nyy sayt Ministerstva ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <http://economy.gov.ru/>
7. Ofitsial'nyy sayt kompanii QGIS [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.qgis.org/ru/site/index.html>
8. Geograficheskie informatsionnye sistemy i distantsionnoe zondirovanie [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://gis-lab.info/>
9. Kerimov M.A., Safiullin R.N., Sredstva foto-videofiksatsii narusheniy PDD: normativnoe regulirovanie i praktika primeneniya // Moskva - Berlin: Direkt-Media - 2016. - 355 s.
10. Ofitsial'nyy sayt Edinyy Transportnyy Portal [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <http://transport.mos.ru/>
11. Novikov A.N., Ivashchuk O.A., Vasil'eva V.V. Upravlenie vozdeystviem potokov avtotransporta na kachestvo akusticheskoy sredy goroda na osnove informatsionnykh tekhnologiy // Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport. - 2007. - № 4-16. - S. 226-232.
12. Marusin A.V. Metodika otsenki effektivnosti funktsionirovaniya sistem avtomaticheskoy fiksatsii narusheniy pravil dorozhnogo dvizheniya: Dis. / Marusin A.V. - SPb GASU, 2017. - 203 s.
13. Pavlov S.N., Grefenshteyn A.P. Sovershenstvovanie metodiki otsenki tselesoobraznosti vvedeniya vydelennoy polosy v krupnykh gorodakh // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. - 2020. - №4(55). - C. 19-25.
14. Vydelennye polosy v Rossii. Reyting gorodov [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://buslanes.ru/>
15. Mineta transportation institute. Shared-Use Bus Priority Lanes on City Streets: Case Studies in Design and Management [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: [https://nacto.org/docs/usdg/shared\\_use\\_bus\\_priority\\_lanes\\_on\\_city\\_streets\\_agrawal.pdf](https://nacto.org/docs/usdg/shared_use_bus_priority_lanes_on_city_streets_agrawal.pdf)
16. Tarusova M.S., Stavtseva A.A., Milina M.Yu., Vasil'eva V.V. Opyt organizatsii vydelennykh polos dlya obshchestvennogo transporta v Rossii i v mire. // BUDUSHCHEE NAUKI-2020: Sbornik nauchnykh statey 8-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii OGTU imeni I.S. Turgeneva. - V 5-ti tomakh. - Tom 5. - Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2020. - S. 177-180.
17. Belova A.M. Metodika obosnovaniya tselesoobraznosti vydeleniya polos dlya dvizheniya marshrutno-go transporta obshchego pol'zovaniya: Avtoref. dis. ... kand.tekhn.nauk / Belova A.M. - Moskva, 2014. - 23 s.
18. Zhirkova A.A., Basov K.A., Ivlev V.Yu., Titova P.A. Obosnovanie vvedeniya vydelennykh polos dlya marshrutnogo passazhirskogo transporta [Elektronnyy resurs] / Evraziyskiy Soyuz Uchenykh. - 2016. - №1-2(22). - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-vvedeniya-vydelennykh-polos-dlya-marshrutnogo-passazhirskogo-transporta>.
19. Yablokov Pavel. Bol'she vydelennykh polos: v krupnykh gorodakh ozvuchili plany na 2022 god po ikh vvodu [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://tr.ru/news/4166-bolshe-vydelennykh-polos-v-krupnykh-gorodakh-ozvuchili-plany-na-2022-god-po-ih-vvodu>
20. Shurupova A.V., Butuzova A.B. Problema Irkutskaya v oblasti organizatsii dorozhnogo dvizheniya: otsustvie vydelennykh polos dlya obshchestvennogo transporta [Elektronnyy resurs] / Nauchnyy zhurnal. - 2018. - №4(27). - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-irkutskaya-v-oblasti-organizatsii-dorozhnogo-dvizheniya-otsustvie-vydelennykh-polos-dlya-obshchestvennogo-transporta> (data obrashcheniya: 24.12.2022).
21. Shlippe I.I., Chernobaeva L.E., Akhterov A.V. Analiz effektivnosti sozdaniya vydelennykh polos dlya gorodskikh avtobusnykh marshrutov [Elektronnyy resurs] / Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh. - 2015. - № 3. - Rezhim dostupa: [auts.esrae.ru/15-290](http://auts.esrae.ru/15-290).

**Kirillova Elena Vasilyevna**  
ITMO University  
Address: Russian Federation, 197101, St. Petersburg  
Master's student  
E-mail: [ev.kirillova@icloud.com](mailto:ev.kirillova@icloud.com)

**Budrina Elena Viktorovna**  
ITMO University  
Address: Russian Federation, 197101, St. Petersburg  
Doctor of economic sciences  
E-mail: [boudrina@mail.ru](mailto:boudrina@mail.ru)

Научная статья

УДК 656.021.8

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-43-49

С.В. ЖАНКАЗИЕВ, М.Н. ВРАЖНОВА, А.А. ПАШКОВА

## КОНЦЕПЦИЯ МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО МАРШРУТА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

***Аннотация.** В работе рассматриваются средства индивидуальной мобильности, их основные технические характеристики. Проанализирована статистка аварийности с участием средств индивидуальной мобильности на территории РФ за 9 месяцев последних трех лет. Проведен анализ параметров движения с точки зрения ошибок первого и второго рода. Предложена концепция методики маршрутного ориентирования пользователей средств индивидуальной мобильности посредством построения безопасного маршрута. Результаты данного исследования будут использоваться при разработке приложения на смартфон для пользователей средств индивидуальной мобильности.*

***Ключевые слова:** средства индивидуальной мобильности, безопасность дорожного движения, маршрутизация, улично-дорожная сеть, электротранспорт*

### **Введение**

Средства индивидуальной мобильности (далее СИМ) – набирающий популярность вид транспорта, который является не только транспортом последней мили, но и, в последние годы, средством передвижения на достаточно большие расстояния, тем самым позволяя объезжать загруженные транспортные узлы. Количество ДТП с участием этого вида транспорта растет из-за широкого распространения и из-за отсутствия «умного» регулирования, которое позволило бы перевести движение СИМ из разряда стихийного в разряд управляемого. Для этого необходимо разработать методику определения безопасного маршрута для движения СИМ по дорогам общего пользования и прилегающим территориям, а затем на основе этой методики создать приложение на смартфон для пользователей СИМ.

### **Материал и методы**

С 1 марта 2023 года в РФ вступают в силу новые поправки в Правила дорожного движения (ПДД), в которых СИМ приравнивают к транспортным средствам. К СИМ, как к транспортным средствам будут относиться следующих виды: электросамокаты, электроскейтборды, гироскутеры, сигвеи, моноколеса и другие аналогичные средства (ПДД РФ). На рисунке 1 представлены характеристики основных типов СИМ с электроприводом на улично-дорожной сети (УДС) городов РФ.

СИМ представляют собой средство передвижения, благодаря которому пользователи этим видом транспорта могут покрывать расстояния между районами достаточно быстро и эффективно. Но, несмотря на это, СИМ является опасным видом транспорта, так как пользователям СИМ с 1 марта 2023 года разрешено ездить по велополосам, велодорожкам, пешеходным тротуарам и дорожкам, а также по обочинам и правому краю проезжей части.

СИМ имеют достаточно значительную массу из-за наличия электродвигателя, несмотря на небольшие габариты, но при этом могут развивать относительно высокую скорость (25-30 км/ч). С вводом нового ГОСТа по СИМ регламентируется скоростной режим до 25 км/ч [1]. К сожалению, данных мер недостаточно для избежания и снижения тяжести последствий ДТП.

В связи с тем, что городская УДС остается непригодной для пользователей СИМ, не определен их конечный правовой статус в качестве категории участников дорожного движения, движение СИМ остается малопредсказуемым [7]. При этом также следует учитывать, что отнесение отдельных категорий СИМ по техническим характеристикам к мопедам допустит их массовое движение по проезжей части, что приведет к дополнительным рискам в сфере БДД. Но в то же время передвижение СИМ по участкам УДС, предназначенным для

пешеходов (тротуары, обочины и т.д.), без ограничения максимальной скорости будет представлять угрозу для пешеходов [12-14]. На рис. 2 показана статистика аварийности пользователей СИМ за 9 месяцев 2020, 2021 и 2022 гг. [2].

Внешний вид							
Название	Электросамокат EGRET-ONE	Электросамокат Ninebot max	Электросамокат Joyot	Моноколесо Ninebot One A1	Сигвей	Гироскутер	Электроскейтборд
Масса, кг	15	19,2	14	10,4	24	10	3,2
Запас хода, км	23	65	30	15	30	15	8
Время зарядки, ч	4,5	6	5	2	4,5	2	2
Макс. скорость, км/ч	20	25	35	20	18	15	18
Мощность, Вт	250	350	350	400	1000	500	400
Макс. масса, кг	100	100	120	120	120	100	80
Габариты, см	97 × 56 × 117	11,7 × 47,2 × 120	16,5 × 47 × 108	44,8 × 41,9	66,2 × 66 × 126	59 × 22 × 21	57,5 × 15

Рисунок 1 – Типы СИМ и их технические характеристики

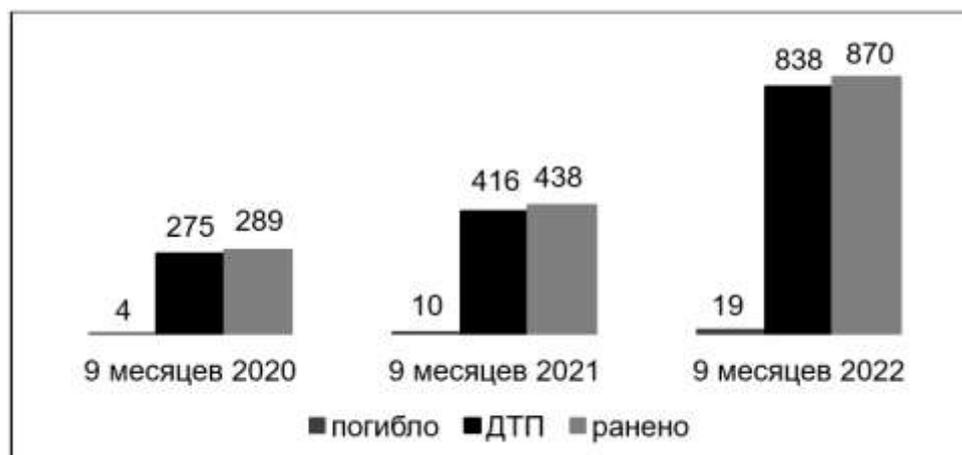


Рисунок 2 – Показатели аварийности с участием СИМ

Для эффективного интегрирования СИМ в сложившуюся дорожно-транспортную инфраструктуру необходима оптимизация движения СИМ по ряду критериев. Движение любого транспортного средства или человека нельзя идентифицировать, как какой-либо параметр движения, например, направление, скорость или время. Параметры могут варьироваться от мощности двигателя до расхода топлива и снижения выбросов. Параметры движения СИМ можно идентифицировать как параметры с ограничением сверху и с ограничением снизу [6, 9, 15, 18].

У ряда критериев верхняя граница диапазона свидетельствует об эффективном значении анализируемого критерия эффективности. Например, к этому относится снижение таких параметров, как расход топлива и выбросов, потому что это влияет на улучшение экологии. Если говорить про движение СИМ, в данном случае можно выделить снижение таких параметров, как задержки на маршруте, время в движении, стоимость поездки и др. [11].

При ограничении параметра по нижней границе диапазона, он считается эффективным при стремлении к максимальным значениям. К таким параметрам относятся безопасность дорожного движения, приведенная безопасность (приводим безопасность к километру пробега).

В зависимости от существующих условий движения и складывающейся дорожной ситуации ряд параметров движения СИМ могут быть ограничены по верхней или нижней

границе диапазона, например, скорость движения. При движении по УДС скоростная характеристика транспортных средств не однозначна при выполнении условий эффективного движения. При достижении цели по повышению пропускной способности транспортной системы должна решаться инженерная задача по увеличению средней скорости транспортного потока на рассматриваемом участке УДС. В то же время существуют скоростные ограничения, которые определяются категорией дороги и действующими нормативно-правовыми актами [8, 10, 19].

Обладая информацией о вероятностном распределении скоростных характеристик СИМ в различных дорожно-транспортных ситуациях, возможно определить диапазон безопасного распределения этих характеристик. Ранее полученные исследования по мгновенной скорости в транспортном потоке свидетельствуют о подчинении распределений нормальному закону [3]. Логично выдвинуть предположение о высокой положительной корреляционной связи распределения скоростных характеристик транспортного потока и СИМ. Нормальное распределение величин свидетельствует о том, что суммы случайных величин исследуемых параметров с ростом числа слагаемых ведут себя асимптотически нормально при довольно широких предположениях.

Таким образом, благодаря распределению вероятности появляется возможность сказать, в какой зоне параметры движения СИМ могут быть: либо в зоне ошибок первого рода, либо в зоне ошибок второго рода, либо строго в зоне оптимума.

Все возможные отклонения в работе транспортной системы с участием СИМ можно представить в виде ошибок. Ошибкой первого рода называется ошибка, состоящая в опровержении верной гипотезы. Ошибкой второго рода называется ошибка, состоящая в принятии ложной гипотезы [4].

Для области регулирования движения СИМ под ошибками первого рода следует понимать угрозу безопасности дорожного движения, иными словами недостаточное регулирование, а как следствие, высокую аварийность. Под ошибками второго рода следует понимать реорганизацию дорожного движения, препятствующую развитию данного вида сервиса. В конечном итоге ошибки первого рода будут избыточными рисками аварийности по причине слабого регулирования движения СИМ.

В транспортной системе ошибки первого рода имеют риски по ухудшению БДД, ошибки второго рода обеспечивают безопасность, но при этом негативно влияют на организацию дорожного движения.

В результате накопления ошибок возникнут большие риски, которые связаны с угрозами жизни и здоровья, из-за неопределенности в области страхования данных видов рисков. Но дополнительное создание инфраструктуры, дорожных знаков, разметки и иных технических средств по организации дорожного движения для СИМ может усугубить проблему БДД.

Внутри инфраструктуры для СИМ ключевым фактором является определение режимов движения СИМ. Данные режимы движения и определение безопасного маршрута для пользователей СИМ можно будет загрузить в виде персонального приложения для смартфонов.

Для оптимизации режимов движения СИМ следует выделить несколько ключевых факторов:

- траектория движения;
- скорость движения на каждом участке маршрута;
- возможность превентивно регулировать скоростной режим в зависимости от ситуации, которая складывается вне зоны видимости пользователя СИМ.

Результатом проработки ошибок первого и второго рода станет сокращение рисков наезда на пешеходов, наезда на транспортные средства и др. Это возможно реализовать в случае персонифицированного расчета параметров движения СИМ в направлении к цели при формировании маршрута.

Для решения поставленных задач следует разработать научно-обоснованные методы оптимизации и выбора режимов движения пользователей СИМ. Разработка нормативно-

правовых актов в области движения СИМ должна основываться не только на опыте эксплуатации транспортных средств, но и на результатах научных исследований.

Методика маршрутного ориентирования позволит с максимально возможной безопасностью перемещаться пользователям СИМ по дорогам общего пользования и на прилегающих территориях. Для разработки данной методики следует определить зоны рисков, построить рисковую и оптимизационную модели. После этого нужно будет выделить тот сегмент, который будет наиболее значимым, и в отношении него разработать решение по регулированию. Потому что в случае, когда прямое регулирование не будет опираться на результаты научного исследования, в отношении режимов движения пользователей СИМ получится либо перерегулирование, либо недорегулирование [5, 16, 17, 20].

**Теория / Расчет**

Целевой функцией методики является длина маршрута, разрабатываемый коэффициент конфликтности и время маршрута. Эти три параметра должны образовывать зону оптимума, в противном случае рассчитанный маршрут для пользователя СИМ окажется максимально безопасным при текущих условиях, но и достаточно протяженным.

$$f(L_{\text{марш}}, k_{\text{конфл}}, t_{\text{марш}}) \rightarrow \min,$$

где  $L_{\text{марш}}$  – длина маршрута;

$k_{\text{конфл}}$  – коэффициент конфликтности;

$t_{\text{марш}}$  – время маршрута.

Значение коэффициента конфликтности будет зависеть от времени суток, ширины тротуара, интенсивности и плотности пешеходного потока и др.

$$k_{\text{конфл}} = f(T_{\text{сут}}, Ш_{\text{тр}}, N_{\text{пеш}}, q_{\text{пеш}}),$$

где  $T_{\text{сут}}$  – время суток;

$Ш_{\text{тр}}$  – ширина тротуара;

$N_{\text{пеш}}$  – интенсивность пешеходного потока;

$q_{\text{пеш}}$  – плотность пешеходного потока.

Ниже изображена общая концепция разрабатываемой методики повышения БДД за счет предоставления безопасного маршрута пользователю СИМ (рис. 3).



Рисунок 3 – Концепция разрабатываемой методики

Процесс работы методики маршрутного ориентирования состоит из следующих этапов:

- ввод в приложение пользователя СИМ начальной и конечной точки будущего маршрута движения;
- определение наименьшего расстояния;
- определение оптимального времени маршрута из расчета средней скорости движения;

- деление маршрута с минимальной дистанцией на участки по планировочному принципу, т.е. учитываются те планировочные показатели, которые являются функционально значимыми: ширина тротуара, длина перегона между перекрестками, наличие/отсутствие пешеходного перехода, наличие/отсутствие регулируемой пешеходной фазы, объекты притяжения пешеходного движения и т.д.;

- определение фактического времени движения на маршруте с учетом всех ограничений;
- расчет коэффициента конфликтности;
- расчет реальной скорости движения на маршруте с точки зрения вероятного совершения наезда;
- построение итогового маршрута движения пользователя СИМ;
- корректировка маршрута во время движения при необходимости.

### **Результаты и обсуждение**

В настоящее время в РФ пользователи СИМ могут построить маршруты движения от точки А до точки Б с помощью приложений Яндексa и 2ГИС. Но данные сервисы строят маршруты по принципу кратчайшего расстояния.

Последовательность этапов методики позволит создать приложение на мобильное устройство для пользователей СИМ, которое будет строить безопасные маршруты с учетом времени движения, длины маршрута и ограничений на участках УДС.

### **Выводы**

Предлагаемая методика маршрутного ориентирования для условного пользователя СИМ, базирующаяся на БДД и расчете оптимального времени маршрута в текущих условиях движения пешеходов, позволит реорганизовать хаотичное и порой опасное движение пользователей СИМ. Разрабатываемая методика будет интегрирована в приложение на смартфон для пользователей СИМ, которое будет строить безопасные маршруты с учетом всех ограничений и особенностей УДС города. Результатом комплексной работы ожидается значительное увеличение спроса на этот вид мобильности.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ Р 70514-2022. Электрические средства индивидуальной мобильности. Технические требования и методы испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2022. – 50 с.
2. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 9 месяцев 2022 года. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2022. – 40 с.
3. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия. – 2-е изд., стер., 2008. – 352 с.
4. Жанказиев С.В., Пашкова А.А. Концепция разработки ПОДД для возможности допуска высокоавтоматизированных транспортных средств на дороги общего пользования // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2021. – С. 107-109.
5. Zhankaziev S. Current Trends of Road-traffic Infrastructure Development // Transportation Research Procedia. – 2017. – Vol. 20. – P. 731-739.
6. Dronseyko V., Pakhomova A., Shalagina E., Pletnev M. Driving danger coefficient as a method of evaluating the driver's behavior in road traffic // Transportation Research Procedia. System and digital technologies for ensuring traffic safety. – 2018. – P. 129-134.
7. Буйленко В.Я., Короткова Ю.А., Пахомова А.А. Экспертный анализ дорожных условий. – М.: МАДИ, 2019. – 108 с.
8. Zhankaziev S., Zamytskih A., Vorobyev A., Gavrilyuk M., Pletnev M. Predicting traffic accidents using the conflict coefficient // Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex (TIRVED). – 2022. – P. 1-6.
9. Zamytskih A., Zhankaziev S., Dronseyko V., Shalagina E., Pletnev M. Determination of instant social risk for a moving vehicle // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications. – 2022. – P. 1-6.
10. Zhankaziev S., Vorobyev A., Gavrilyuk M., Vorobyeva T., Morozov D. Creation of a certification system for ensuring the safety of information transfer between vehicles and intelligent road infrastructure in the Russian Federation // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications, Conference Proceedings. – 2021. – P. 1-5.
11. Донченко В.В., Купавцев В.А. Анализ основных квалификационных систем средств индивидуальной мобильности // Вестник СибАДИ. – 2021. – №3. – Т. 18. – С. 252-263.

12. Мишина Ю.В. Проблемы определения административно-правового статуса лиц, использующих для передвижения электросамокат, сегвей и иные современные технические средства // Проблемы экономики и юридической практики. – 2020. – № 4. – С. 321-325.

13. Мишина Ю.В. К вопросу об участии в дорожном движении пользователей средств индивидуальной мобильности // Правопорядок: история, теория, практика. – 2020. – №1(24). – С. 321-325.

14. Магдин К.А. Повышение безопасности участка улично-дорожной сети города за счет регулирования транспортных и пешеходных потоков // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3-4(78). – С. 71-79.

15. Загидуллин Р.Р., Дрючин Д.А. Индекс транспортной мобильности больших городов России // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №2(73). – С. 40-48.

16. Сильянов В.В. Пути повышения эффективности управления дорожным движением в мегаполисах // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – №3. – С. 1-4.

17. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. К вопросу разработки модели транспортной системы индивидуальных перемещений // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №4-2(79). – С. 49-57.

18. Савельева Е.О., Лоренс П. Сравнительный анализ моделей городской мобильности в России и за рубежом // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – №3. – С. 79-94.

19. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Обзор сервисов для обеспечения транспортной подвижности населения / Отв. редактор М.С. Разумов // Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике: Сборник научных статей 4-й Международной научно-технической конференции. – Курск: Юго-Западный государственный университет. – 2022. – С. 22-27.

20. Крушель Е.Г., Огар Т.П., Панфилов А.Э., Степанченко И.В., Степанченко О.В. Оценка пригодности модели перемещения пассажиров между остановками городского пассажирского общественного транспорта для выявления скрытых закономерностей поведения пассажиропотока [Электронный ресурс] / Инженерный вестник Дона. – №4. – 2021. – Режим доступа: 2021ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6936

**Жанказиев Султан Владимирович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

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

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой организации и безопасности движения, интеллектуальные транспортные системы

E-mail: sultanv@mail.ru

**Вражнова Марина Николаевна**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

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

Д.п.н., доцент, декан факультета управления

E-mail: m.vrazhnova@sociomadi.ru

**Пашкова Анастасия Андреевна**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

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

Ассистент кафедры организации и безопасности движения, интеллектуальные транспортные системы

E-mail: pashckova.anast@yandex.ru

---

S.V. ZHANKAZIEV, M.N. VRAZHNOVA, A.A. PASHKOVA

**THE CONCEPT OF A METHODOLOGY TO IMPROVE ROAD SAFETY  
BY PROVIDING A SAFE ROUTE FOR USERS OF PERSONAL  
TRANSPORTERS**

***Abstract.** The paper deals with personal transporters and their main technical characteristics. The statistics of accidents involving personal transporters in the territory of the Russian Federation for 9 months of the last three years is analyzed. The analysis of traffic parameters in terms of errors of the first and second kind is carried out. A concept of route guidance methods for users of personal transporters by constructing a safe route was offered. The results of this study will be used to develop a smartphone application for users of personal transporters.*

***Keywords:** personal transporters, road safety, routing, road network, electric transport*

**BIBLIOGRAPHY**

1. GOST R 70514-2022. Elektricheskie sredstva individual'noy mobil'nosti. Tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy. - Moskva: Standartinform, 2022. - 50 s.

2. Dorozhno-transportnaya avariynost` v Rossiyskoy Federatsii za 9 mesyatsev 2022 goda. Informatsionno-analiticheskiy obzor. - M.: FKU «NTS BDD MVD Rossii», 2022. - 40 s.
3. Sil`yanov V.V., Domke E.R. Transportno-ekspluatatsionnye kachestva avtomobil`nykh dorog i gorodskikh ulits: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy. - M.: Akademiya. - 2-e izd., ster., 2008. - 352 s.
4. Zhankaziev S.V., Pashkova A.A. Kontseptsiya razrabotki PODD dlya vozmozhnosti dopuska vysokoavtomatizirovannykh transportnykh sredstv na dorogi obshchego pol`zovaniya // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. - 2021. - S. 107-109.
5. Zhankaziev S. Current Trends of Roadtraffic Infrastructure Development // Transportation Research Procedia. - 2017. - Vol. 20. - P. 731-739.
6. Dronseyko V., Pakhomova A., Shalagina E., Pletnev M. Driving danger coefficient as a method of evaluating the driver's behavior in road traffic // Transportation Research Procedia. System and digital technologies for ensuring traffic safety. - 2018. - P. 129-134.
7. Buylenko V.Ya., Korotkova Yu.A., Pakhomova A.A. Ekspertnyy analiz dorozhnykh usloviy. - M.: MADI, 2019. - 108 s.
8. Zhankaziev S., Zamytskiy A., Vorobyev A., Gavrilyuk M., Pletnev M. Predicting traffic accidents using the conflict coefficient // Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex (TIRVED). - 2022. - P. 1-6.
9. Zamytskiy A., Zhankaziev S., Dronseyko V., Shalagina E., Pletnev M. Determination of instant social risk for a moving vehicle // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications. - 2022. - P. 1-6.
10. Zhankaziev S., Vorobyev A., Gavrilyuk M., Vorobyeva T., Morozov D. Creation of a certification system for ensuring the safety of information transfer between vehicles and intelligent road infrastructure in the Russian Federation // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications, Conference Proceedings. - 2021. - R. 1-5.
11. Donchenko V.V., Kupavtsev V.A. Analiz osnovnykh kvalifikatsionnykh sistem sredstv individual`noy mobil`nosti // Vestnik SibADI. - 2021. - №3. - T. 18. - S. 252-263.
12. Mishina Yu.V. Problemy opredeleniya administrativno-pravovogo statusa lits, ispol`zuyushchikh dlya peredvizheniya elektrosamokaty, segvei i inye sovremennye tekhnicheskie sredstva // Problemy ekonomiki i yuridicheskoy praktiki. - 2020. - № 4. - S. 321-325.
13. Mishina YU.V. K voprosu ob uchastii v dorozhnom dvizhenii pol`zovateley sredstv individual`noy mobil`nosti // Pravoporyadok: istoriya, teoriya, praktika. - 2020. - №1(24). - S. 321-325.
14. Magdin K.A. Povyshenie bezopasnosti uchastka ulichno-dorozhnoy seti goroda za schet regulirovaniya transportnykh i peshekhodnykh potokov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-4(78). - S. 71-79.
15. Zagidullin R.R., Dryuchin D.A. Indeks transportnoy mobil`nosti bol`shikh gorodov Rossii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №2(73). - S. 40-48.
16. Sil`yanov V.V. Puti povysheniya effektivnosti upravleniya dorozhnym dvizheniem v megapolisakh // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. - 2013. - №3. - S. 1-4.
17. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. K voprosu razrabotki modeli transportnoy sistemy individual`nykh peremeshcheniy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №4-2(79). - S. 49-57.
18. Savel`eva E.O., Lorens P. Sravnitel`nyy analiz modeley gorodskoy mobil`nosti v Rossii i za rubezhom // Vestnik Permskogo natsional`nogo issledovatel`skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. - 2019. - №3. - S. 79-94.
19. Agureev I.E., Akhromeshin A.V. Obzor servisov dlya obespecheniya transportnoy podvizhnosti naseleeniya / Otv. redaktor M.S. Razumov // Informatsionnye tekhnologii v upravlenii, avtomatizatsii i mekhatronike: Sbornik nauchnykh statey 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2022. - S. 22-27.
20. Krushel` E.G., Ogar T.P., Panfilov A.E., Stepanchenko I.V., Stepanchenko O.V. Otsenka prigodnosti modeli peremeshcheniya passazhirov mezhdru ostanovkami gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta dlya vyyavleniya skrytykh zakonomernostey povedeniya passazhiropotoka [Elektronnyy resurs] / Inzhenernyy vestnik Dona. - №4. - 2021. - Rezhim dostupa: 2021ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6936

**Zhankaziev Sultan Vladimirovich**

Moscow Automobile and Road Construction State  
Technical University  
Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64  
Doctor of technical science  
E-mail: sultanv@mail.ru

**Pashkova Anastasiya Andreevna**

Moscow Automobile and Road Construction State  
Technical University  
Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64  
Assistant  
E-mail: pashckova.anast@yandex.ru

**Vrazhnova Marina Nikolaevna**

Moscow Automobile and Road Construction State  
Technical University  
Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64  
Doctor of pedagogical science  
E-mail: m.vrazhnova@sociomadi.ru

Научная статья

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-50-59

А.Н. СЕМКИН, А.Н. ШЕВЛЯКОВ

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ КООРДИНАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА НА ПРИМЕРЕ ОРЛОВСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

***Аннотация.** Авторы статьи приводят примеры практической реализации экосистемы, включающей технологические продукты для управления, моделирования и интерактивного взаимодействия участников системы городских пассажирских перевозок. описаны проблемы их внедрения, разработана архитектура модуля, осуществляющего координацию работы общественного транспорта, приведены результаты внедрения подсистем координации движения маршрутных транспортных средств, даны рекомендации по дальнейшему развитию реализуемых подсистем.*

***Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные системы, управление общественным транспортом, экосистема*

### **Введение**

В настоящее время в нашей стране широкими темпами идет внедрение цифровых технологий в различные отрасли народного хозяйства, в том числе в дорожную и транспортную. Так с 2018 года в Российской Федерации запущен Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги», предусматривающий реализацию мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» [1, 6].

В 2020 году было отобрано 22 локальных проекта ИТС от различных регионов России, при этом общий объем финансирования для реализации этих проектов на 2020-2024 гг. составил 42 млрд. рублей. Следует отметить, что реализация мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем» в различных регионах является основой для формирования единой национальной системы ИТС. Основную проблему для формирования национальной системы представляет различные подходы к реализации региональных ИТС. Именно для целей приведения к единой правовой базе, архитектуре и формированию общих принципов построения региональных ИТС была разработана Методика оценки и ранжирования локальных проектов 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» (Распоряжение Минтранса № АК-60-р от 25.03.2020 г.) [2, 8].

Локальный проект по реализации ИТС в Орловской городской агломерации (ОГА) получил высокую оценку при ранжировании заявок на предоставление иных межбюджетных трансфертов субъектам Российской Федерации в целях внедрения 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» [3, 7].

Данным проектом предусматривается реализация нескольких модулей и подсистем ИТС ОГА, в число которых входит модуль управления общественным транспортом.

### **Материал и методы**

Локальный проект, предусматривающий реализацию ИТС в ОГА разработан в соответствии с «Методикой оценки и ранжирования локальных проектов в целях реализации мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих авто-

матизацию 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». На основании указанной выше Методики, разработана архитектура ИТС городской агломерации, которая включает обязательные модули/подсистемы. Кроме того, в ИТС городской агломерации могут быть реализованы опционные модули/ подсистемы [4, 9].

В разработанной архитектуре ИТС городской агломерации следует выделить (рис. 1): федеральный, региональный и муниципальные уровни модулей и подсистем. В свою очередь модули и подсистемы можно также разделить на:

- уровень системы (модулей центральной платформы);
- уровень подсистем;
- уровень сети передачи данных (СПД).

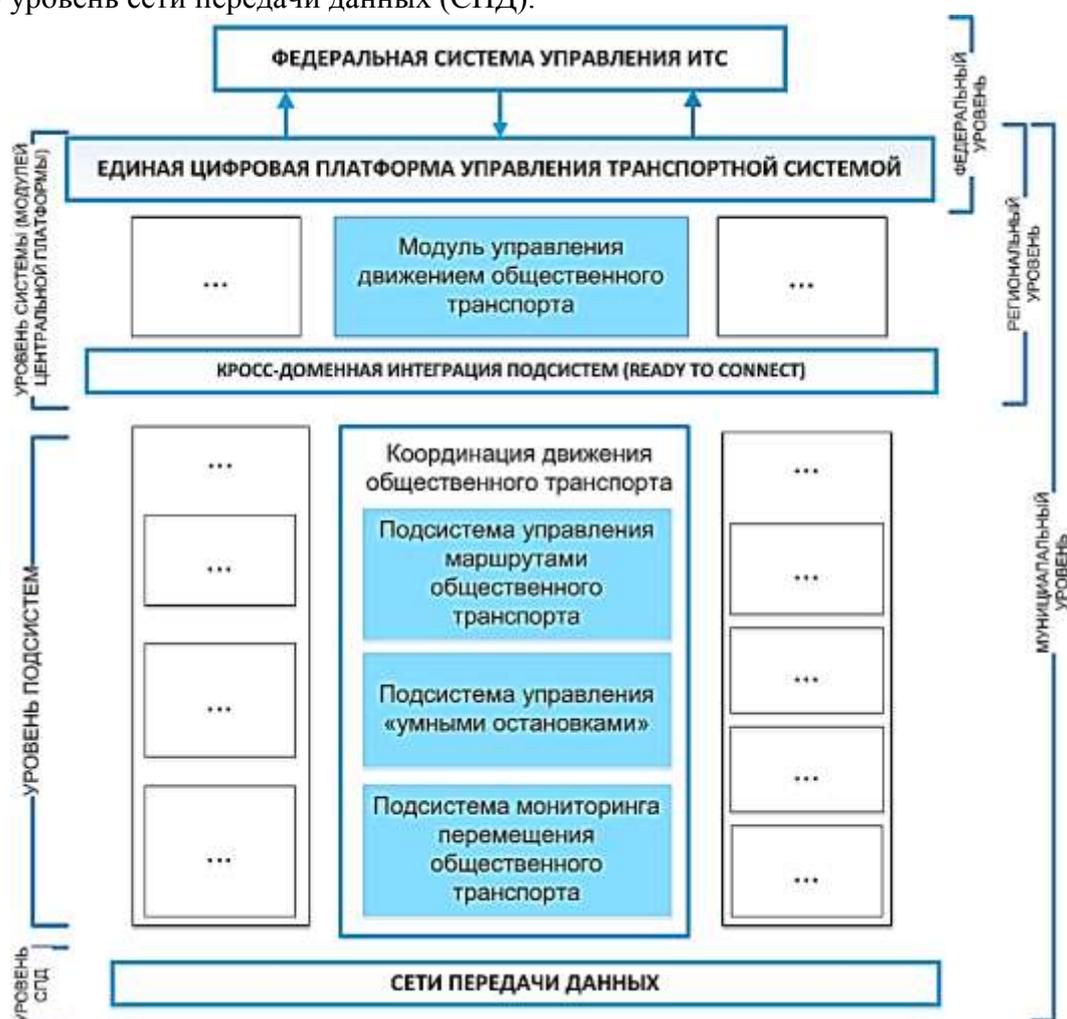


Рисунок 1 – Архитектура ИТС городской агломерации

### Теория

Модуль, предназначенный для управления движением общественного транспорта (координации движения общественного транспорта) имеет следующее назначение [10-12]:

- Автоматизация. Автоматизированный учет транспортной работы, а также внедрение программно-аппаратных комплексов для управления перевозочным процессом, направленные на повышение эффективности эксплуатации общественного транспорта.
- Оптимизация. Возможность оперативной оптимизация работы транспортных предприятий маршрутов движения общественного транспорта и движения транспортных потоков.
- Информационное обеспечение. Предоставление данных для диспетчерских центров о местах расположения, технических параметрах общественного транспорта.

- Диспетчеризация. Диспетчерское управление движением общественного транспорта по всему маршруту, систематический контроль объёмов выполненной транспортной работы в соответствии с заключёнными договорами.

- Подготовка отчётов. Генерация специализированных отчетов о маршрутах движения общественного транспорта, расписаниях движения, размещения остановок.

Как видно из приведенных данных модуль управления движением общественного транспорта (координация движения общественного транспорта) состоит из следующих элементов:

- подсистема управления маршрутами общественного транспорта;
- подсистема управления «умными остановками»;
- подсистема мониторинга перемещения общественного транспорта.

Подсистема управления маршрутами общественного транспорта предназначена для улучшения показателей эффективности и качества транспортного обслуживания населения, достигаемых путем оптимизации критериев использования подвижного состава общественного транспорта, к которым относятся: соблюдение расписания движения, отклонение от маршрутов, пассажиропоток на маршруте. Полученные данные необходимы для оперативного управления и корректирования выпуска маршрутных транспортных средств на линию, а также осуществления сбора статистических данных, характеризующих эффективность и качество транспортной работы подвижного состава, и их дальнейшей аналитической обработки [13-16].

Подсистема управления «умными остановками» предназначена для определения пассажирообмена на остановочных пунктах, коэффициента выпуска транспортных средств, а также для выявления случаев нарушений транспортного законодательства и обеспечения транспортной безопасности на остановочных пунктах. Кроме того, подсистема управления «умными остановками» необходима для информирования пассажиров о режимах работы пассажирского транспорта [17].

Целями и задачами подсистемы мониторинга перемещения общественного транспорта являются отслеживание перемещения маршрутных транспортных средств, а также соблюдения графиков движения транспортных средств по маршрутам.

Необходимо отметить, что несмотря на то что архитектура ИТС городских агломераций выделяет конкретные подсистемы, они все должны быть объединены единой интеграционной платформой, которая и позволяет эффективно управлять транспортной жизнью городских агломераций [18].

Так в частности подсистемы управления маршрутами и мониторинга перемещения общественного транспорта эффективно дополняют друг друга, а периферийное оборудование этих подсистем устанавливается на одно и то же транспортное средство. При этом, осуществляется контроль за перемещением транспортного средства, а также производится определение пассажиропотока. Кроме того, при помощи подсистемы управления «умными остановками» производится дополнительный контроль за движением маршрутных транспортных средств, а также производится мониторинг пассажирообмена на остановочных пунктах [19].

### ***Результаты и обсуждение***

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» предусматривается создание ИТС ОГА, которая в полном объеме соответствует эталонной архитектуре ИТС.

Локальным проектом ИТС ОГА предусмотрено поэтапное внедрение и развитие ИТС. В соответствии с локальным проектом необходимо реализовать 22 обязательных модулей и подсистем, а также 29 опционных [4].

Реализация модуля управления движением общественного транспорта (координация движения общественного транспорта) началась в 2021 году в рамках реализации второй очереди ИТС Орловской городской агломерации. Так в рамках данного мероприятия за 2021-2022 гг. оборудовано:

- 18 единиц маршрутных транспортных средств программно-аппаратными комплексами подсистемы мониторинга перемещения общественного транспорта;
- 8 единиц маршрутных транспортных средств программно-аппаратными комплексами подсистемы управления маршрутами общественного транспорта;
- 16 остановочных пунктов программно-аппаратными комплексами подсистемы управления «умными остановками».

Внедряемые программно-аппаратные комплексы имеют следующие структурные схемы.

Подсистема управления маршрутами общественного транспорта (рис. 2) включает в себя: мобильный терминал сбора и передачи данных (УТП) и датчик подсчета пассажиропотока. Информация от мобильного терминала сбора и передачи данных посредством каналов сотовой связи передается в Центр обработки данных (ЦОД) и на автоматизированные рабочие места (АРМ) [20].



Рисунок 2 – Структурная схема подсистемы управления маршрутами общественного транспорта



Рисунок 3 – Структурная схема подсистемы мониторинга перемещения общественного транспорта

Подсистема мониторинга перемещения общественного транспорта (рис. 3) состоит из:

- автомобильный видеорегистратор;
- антивандальная купольная автомобильная АНД-камера;
- табло лобовое;
- табло бортовое;
- табло салонное;
- табло заднее;

- аппаратура спутниковой навигации;
- датчик температуры.

Аналогично подсистеме управления маршрутами общественного транспорта, подсистема мониторинга перемещения общественного транспорта передает информацию в ЦОД по каналам сотовой связи.

Подсистема управления «умными остановками» (рис. 4) состоит из:

- камер видеонаблюдения;
- табло электронного;
- модуль звукового дублирования;
- тревожная кнопка вызова «112».

В отличие от ранее рассмотренных подсистем, подсистема управления «умными остановками» осуществляет информационное взаимодействие с ЦОД (передача/ получение информации) по отдельному оптоволоконному каналу связи.



Рисунок 4 – Структурная схема подсистемы управления «умными остановками»

Интеграционной платформой модуля управления движением общественного транспорта (координация движения общественного транспорта) является программное обеспечение «Мультисервисная платформа совместного использования транспортных средств в городской среде «Навигатор-С2020», которая представляет собой высоконагруженную телематическую платформу, выполняющую функции приема, мониторинга, хранения и обработки данных, поступающих от установленного на объектах информационно-измерительного оборудования [21]. Архитектура платформы «Навигатор-С2020» представляет собой Web-решение на базе «облачных» сервисов и включено в Реестр российского ПО за №10530. ПО «Навигатор-С2020» включает в себя несколько модулей:

- Реестры справочной системы. Ведение реестров объектов мониторинга, маршрутов движения транспортных средств с отображением на карте.
- Путевые листы и расписание. Создание и ведение путевых листов, создание расписания по маршрутам с учетом норм работы и отдыха, мониторинг работы по путевым листам.
- Мониторинг перемещения общественного транспорта. Мониторинг работы транспортных средств на маршруте в реальном времени и за прошедший период.
- Отчеты. Формирование различных форм отчетов.
- Умная остановка. Оперативная и актуальная информация о расписаниях, маршрутах, графиках движения пассажирского транспорта, количестве пассажиров и провозимом багаже, выявление несанкционированных маршрутов.
- Умный автобус. Оперативная и актуальная информация о маршруте движения транспорта и работе транспортного средства.

Однако, необходимо отметить что для повышения эффективности функционирования модуля управления движением общественного транспорта (координация движения общественного транспорта) на базе ПО «Навигатор С-2020» разработаны мобильное приложение «Навигатор С-2020», портал интерактивного взаимодействия с пользователем модуля управления дорожным движением, а также его мобильная версия. С учётом возможности интерактивного взаимодействия ПО «Навигатор С-2020» с внешними сервисами ИТС Орловской городской агломерации (ЕПУТС, АСУДД), подсистемой метеомониторинга, подсистемой

управления состоянием дорог, подсистемой диспетчерского управления транспортом служб содержания дорог, а также приложением «Яндекс. Транспорт» можно говорить о внедрении в условиях Орловской городской агломерации экосистемы технологических продуктов, предназначенных для интерактивного взаимодействия всех участников системы пассажирских перевозок (рис. 5).

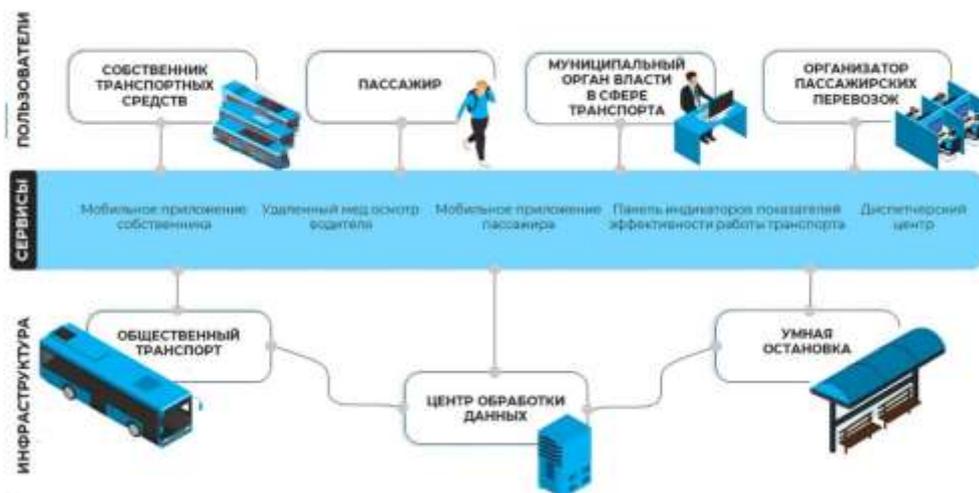


Рисунок 5 – Структурная схема экосистемы управления движением общественного транспорта Орловской городской агломерации

Элементы экосистемы управления движением общественного транспорта Орловской городской агломерации приведены на рисунке 6.

### Выводы

В заключении можно отметить, что ИТС ОГА на данный момент находится на этапе активного развития. Однако, с периода начала реализации проекта ИТС Орловской городской агломерации изменилась нормативная база, разработки и внедрения локальных проектов ИТС. Так если «Методикой оценки и ранжирования локальных проектов 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» предусматривалось внедрение обязательных и опционных подсистем ИТС, то с 2022 года действуют «Методические рекомендации по разработке заявок (включая локальные проекты по созданию и модернизации интеллектуальных транспортных систем) субъектов Российской Федерации на получение иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета бюджетами 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 Минтранса РФ АК-74-р от 21.03.2022 г.) [5].

В соответствии с вновь разработанными методическими рекомендациями предусмотрены уровни зрелости ИТС. Так применительно к управлению движением маршрутных транспортных средств на различных уровнях зрелости ИТС предусмотрено:

- 1 уровень зрелости ИТС – наличие центра мониторинга и управления общественным транспортом (в Орловской городской агломерации создан «Ситуационный центр ИТС Орловской городской агломерации»);

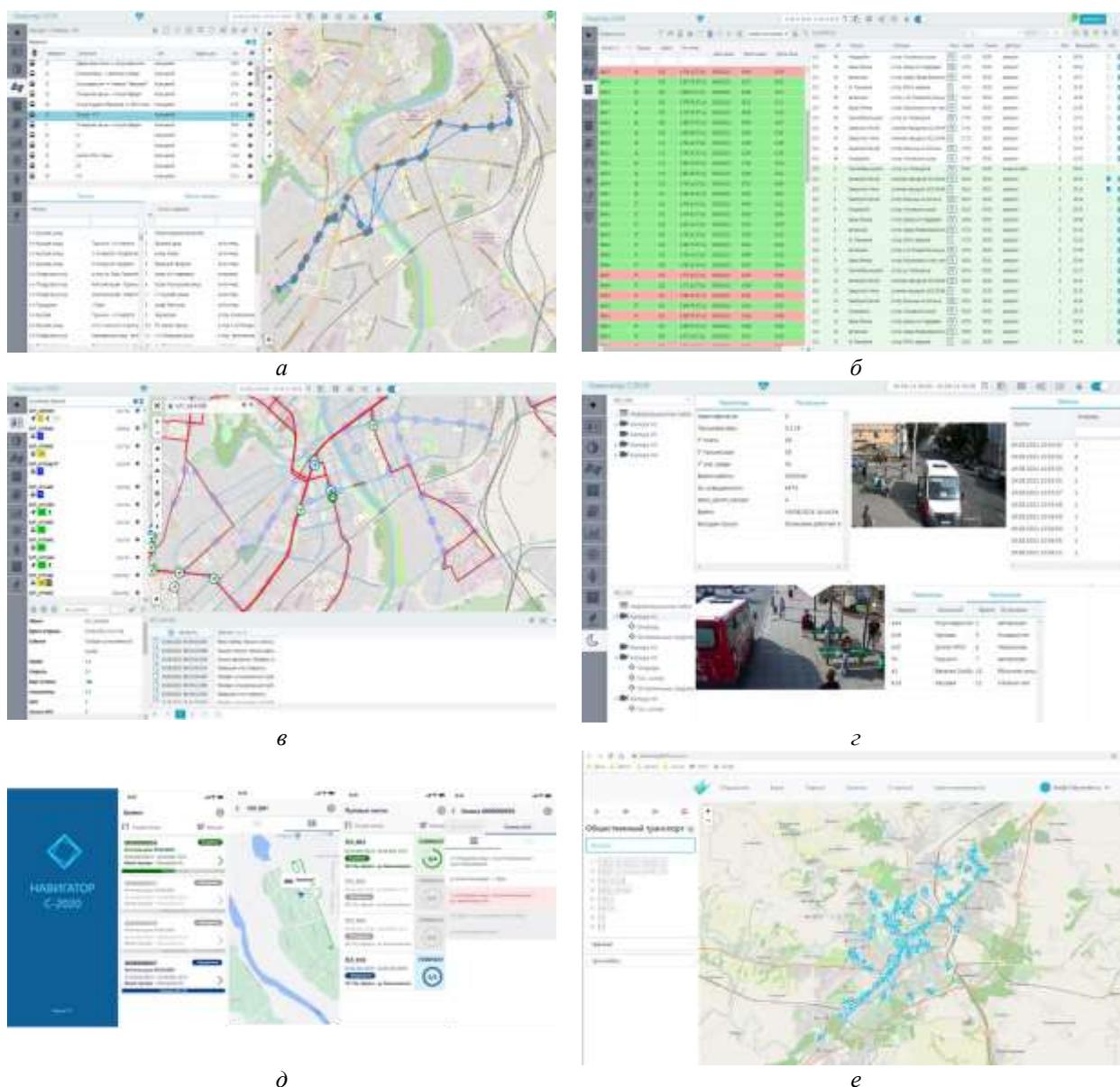
- 2 уровень зрелости ИТС – интеграция в единую платформу не менее четырех подсистем (на данный момент в ЕПУТС интегрировано 6 подсистем, в том числе подсистемы относящиеся к экосистеме управления движением общественного транспорта);

- 3 уровень зрелости ИТС – доля подвижного состава общественного транспорта, обеспечивающего передачу данных о местоположении и заполняемости пассажирами не менее 60% (на данный момент этот показатель составляет менее 5 %);

- 3 уровень зрелости ИТС – наличие подсистемы обеспечения приоритета движения транспортных средств (на всех светофорных объектах в городской агломерации, подключенных к центру управления дорожным движением);

- 4 уровень зрелости ИТС – доля подвижного состава общественного транспорта, обеспечивающего передачу данных о местоположении и заполняемости пассажирами не менее 80%;

- 5 уровень зрелости ИТС – доля подвижного состава общественного транспорта, обеспечивающего передачу данных о местоположении и заполняемости пассажирами не менее 100 %.



**Рисунок 6 – Элементы экосистемы управления движением общественного транспорта Орловской городской агломерации: а – реестр справочной информации; б – путевые листы и расписание; в – мониторинг перемещения общественного транспорта; г – модуль «умная остановка»; д – мобильное приложение «Навигатор С-2020»; е - портал интерактивного взаимодействия с пользователем модуля управления дорожным движением**

На основании анализа текущего уровня развития модуля управления движением общественного транспорта (координация движения общественного транспорта) и требований

нормативной документации можно выделить следующие направления развития экосистемы управления движением общественного транспорта Орловской городской агломерации:

- увеличение доли подвижного состава общественного транспорта, обеспечивающего передачу данных о местоположении и заполняемости пассажирами;
- создание и развитие подсистемы обеспечения приоритета движения маршрутных транспортных средств;
- повышение уровня интерактивного взаимодействия всех участников экосистемы.

Данные мероприятия позволят повысить эффективность и качество транспортного обслуживания населения Орловской городской агломерации, что положительно скажется и на уровне развития всего нашего региона.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении правил предоставления и распределения в 2020 - 2024 годах иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации в целях внедрения 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»: Постановление Правительства Российской Федерации от 21.12.2019 г. №1762.
2. Об утверждении методики оценки и ранжирования локальных проектов 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» национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги»: Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 25.03.2020 г. п АК-60-р.
3. Бодров А.С., Кулев М.В., Девятина Д.Ш., Лобынцева О.А. Оценка готовности Орловской городской агломерации к внедрению интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. - 2020. - №3(70). - С. 64-72.
4. 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»: Методика оценки и ранжирования локальных проектов в целях реализации мероприятия, утверждена распоряжением Минтранса № АК-60-р от 25.03.2020 г.
5. Методические рекомендации по разработке заявок (включая локальные проекты по созданию и модернизации интеллектуальных транспортных систем) субъектов Российской Федерации на получение иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета бюджетами 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 Минтранса РФ АК-74-р от 21.03.2022 г.)
6. ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем.
7. Жанказиев С.В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: Дис. ... докт. техн. наук. - М., 2012. - 450 с.
8. Новиков А.Н., Пржибыл П., Катунин А.А. Перевозки как наука // Мир транспорта и технологических машин. - 2014. - №3(46). - С. 96-109.
9. Корягин М.Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. – Новосибирск: Наука, 2011. – 140 с.
10. Новиков А.Н., Севостьянов А.Л., Катунин А.А., Кулев А.В. Применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для повышения эффективности функционирования городского общественного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - №1(40). - С. 85-90.
11. Ломакин Д.О. Мезоскопические модели транспортных потоков / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. – Орел. - 2016. - С. 53-59.
12. Новиков А.Н., Васильева В.В., Катунин А.А. Прогнозирование воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду урбанизированных территорий на основе моделирования // Вестник гражданских инженеров. - 2016. - №2(55). - С. 210-215.

13. Новиков А.Н., Ивашук О.А., Васильева В.В. Управление воздействием потоков автотранспорта на качество акустической среды города на основе информационных технологий // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. - 2007. - № 4-16. - С. 226-232.

14. Новиков А.Н., Голенков В.А., Баранов Ю.Н., Катунин А.А., Бодров А.С. Совершенствование дорожной сети для повышения их пропускной способности с использованием средств транспортной телематики // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2014. - №6. - С. 128-139.

15. Новиков А.Н., Катунин А.А., Кулев А.В., Пешехонов М.В. Сравнение систем определения местоположения и их применение в интеллектуальных транспортных системах // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - №2(41). - С. 109-113.

16. Novikov A.N., Vasileva V.V., Katunin A.A. Application of environmental monitoring systems as part of intelligent transport systems // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2014. - №5. - С. 49-51

17. Sevryugina N.S., Melikhova S.B., Volkov E.A. The solution of applied problems of optimization of stability of system «environment-man-technics» // Modern applied science. - 2015. - Т. 9. - №3. - С. 200-207.

18. Savrasov M. Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic level: doctoral thesis. - Riga, 2013. - 161 p.

19. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Driver's reaction time in evaluation of the road capacity Applied Mechanics and Materials. - Vols. 725-726. – 2015. – P. 1212-1217.

20. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Research of influence of time of reaction of driver on the calculation of the capacity of the highway Transport problems. - Volume 10. - Issue 3. – P. 53-59.

21. Голенков В.А., Васильева В.В. Комплексная оценка воздействия автотранспорта на акустическую среду городских территорий / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы международной научно-практической конференции. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс». - 2015. - С. 168-178.

**Семкин Александр Николаевич**

ЗАО Группа компаний «НАВИГАТОР»

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

Генеральный директор

E-mail: nvg@ntcnvg.ru

**Шевляков Александр Николаевич**

ЗАО Группа компаний «НАВИГАТОР»

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

Руководитель отдела

E-mail: nvg@ntcnvg.ru

---

A.N. SEMKIN, A.N. SHEVLYAKOV

## **EXPERIENCE IN THE IMPLEMENTATION OF PUBLIC TRANSPORT COORDINATION SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE OREL URBAN AGGLOMERATION**

***Abstract.** The authors of the article give examples of the practical implementation of an ecosystem that includes technological products for management, modeling and interactive interaction of participants in the urban passenger transportation system. the problems of their implementation are described, the architecture of the module that coordinates the work of public transport is developed, the results of the implementation of subsystems for coordinating the movement of route vehicles are presented, recommendations for the further development of the implemented subsystems are given.*

***Keywords:** intelligent transport systems, public transport management, ecosystem*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Ob utverzhdenii pravil predostavleniya i raspredeleniya v 2020 - 2024 godakh inykh mezhyudzhetykh transfertov iz federal'nogo byudzheta byudzheta sub'ektov Rossiyskoy Federatsii v tselyakh vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vklyuchayushchikh goroda s naseleniem svyshe 300 tysyach chelovek, v ramkakh federal'nogo proekta «Obshchesistemnye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva» gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii «Razvitie transportnoy sistemy»: Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 21.12.2019 g. №1762.

2. Ob utverzhdenii metodiki otsenki i ranzhirovaniya lokal'nykh proektov v tselyakh realizatsii mero-priyatiya «Vnedrenie intellektual'nykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vklyuchayushchikh goroda s naseleniem svyshe 300 tysyach chelovek» v ramkakh federal'nogo proekta «Obshchesistemnye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva» natsio-

nal'nogo proekta «Bezopasnye i kachestvennyye avtomobil'nye dorogi»: Rasporyazhenie Ministerstva transporta Rossiyskoy Federatsii ot 25.03.2020 g. n AK-60-r.

3. Bodrov A.S., Kulev M.V., Devyatina D.Sh., Lobyntseva O.A. Otsenka gotovnosti Orlovskoy gorodskoy aglomeratsii k vnedreniyu intellektual'nykh transportnykh sistem // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2020. - №3(70). - S. 64-72.

4. Vnedrenie intellektual'nykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vkluchayushchikh goroda s naseleniem svyshe 300 tysyach chelovek v ramkakh federal'nogo proekta «Obshchestvennyye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva» natsional'nogo proekta «Bezopasnye i kachestvennyye avtomobil'nye dorogi»: Metodika otsenki i ranzhirovaniya lokal'nykh proektov v tselyakh realizatsii meropriyatiya, utverzhdena rasporyazheniem Mintransa № AK-60-r ot 25.03.2020 g.

5. Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke zayavok (vkluchaya lokal'nye proekty po sozdaniyu i modernizatsii intellektual'nykh transportnykh sistem) sub"ektov Rossiyskoy Federatsii na poluchenie innykh mezhbyudzhethnykh transfertov iz federal'nogo byudzheta byudzheta sub"ektov Rossiyskoy Federatsii v tselyakh realizatsii meropriyatiya «Vnedrenie intellektual'nykh transportnykh sistem, predusmatrivayushchikh avtomatizatsiyu protsessov upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodskikh aglomeratsiyakh, vkluchayushchikh goroda s naseleniem svyshe 300 tysyach chelovek» v ramkakh federal'nogo proekta «Obshchestvennyye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva» gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii «Razvitie transportnoy sistemy» (Rasporyazhenie Mintransa RF AK-74-r ot 21.03.2022g.)

6. GOST R 56294-2014. Intellektual'nye transportnye sistemy. Trebovaniya k funktsional'noy i fizicheskoy arkhitekturam intellektual'nykh transportnykh sistem.

7. Zhankaziev S.V. Nauchnye osnovy i metodologiya formirovaniya intellektual'nykh transportnykh sistem v avtomobil'no-dorozhnykh kompleksakh gorodov i regionov: Dis. ... dokt. tekhn. - M., 2012. - 450 s.

8. Novikov A.N., Przhibyl P., Katunin A.A. Perevozki kak nauka // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2014. - №3(46). - S. 96-109.

9. Koryagin A.E. Ravnovesnye modeli sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta v usloviyakh konflikta interesov. - Novosibirsk: Nauka, 2011. - 140 s.

10. Novikov A.N., Sevost'yanov A.L., Katunin A.A., Kulev A.V. Primenenie intellektual'nykh transportnykh sistem (ITS) dlya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo obshchestvennogo transporta // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2013. - №1(40). - S. 85-90.

11. Lomakin D.O. Mezoskopicheskie modeli transportnykh potokov / Pod obshchey redaktsiey A.N. Novikova // *Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* - Orel. - 2016. - S. 53-59.

12. Novikov A.N., Vasil'eva V.V., Katunin A.A. Prognozirovaniye vozdeystviya avtotransportnykh potokov na akusticheskuyu sredy urbanizirovannykh territoriy na osnove modelirovaniya // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov.* - 2016. - №2(55). - S. 210-215.

13. Novikov A.N., Ivashchuk O.A., Vasil'eva V.V. Upravlenie vozdeystviem potokov avtotransporta na kachestvo akusticheskoy sredy goroda na osnove informatsionnykh tekhnologiy // *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport.* - 2007. - № 4-16. - S. 226-232.

14. Novikov A.N., Golenkov V.A., Baranov Yu.N., Katunin A.A., Bodrov A.S. Sovershenstvovanie dorozhnoy seti dlya povysheniya ikh propusknoy sposobnosti s ispol'zovaniem sredstv transportnoy telematiki // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* - 2014. - №6. - S. 128-139.

15. Novikov A.N., Katunin A.A., Kulev A.V., Peshekhonov M.V. Sravnenie sistem opredeleniya mestopolozheniya i ikh primeneniye v intellektual'nykh transportnykh sistemakh // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2013. - №2(41). - S. 109-113.

16. Novikov A.N., Vasileva V.V., Katunin A.A. Application of environmental monitoring systems as part of intelligent transport systems // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli.* - 2014. - №55. - S. 49-51

17. Sevryugina N.S., Melikhova S.B., Volkov E.A. The solution of applied problems of optimization of stability of system «environment-man-technics» // *Modern applied science.* - 2015. - T. 9. - №3. - C. 200-207.

18. Savrasov M. Development of new approach for simulation and analysis of traffic flows on mesoscopic level: doctoral thesis. - Riga, 2013. - 161 p.

19. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Driver's reaction time in evaluation of the road capacity *Applied Mechanics and Materials.* - Vols. 725-726. - 2015. - R. 1212-1217.

20. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Research of influence of time of reaction of driver on the calculation of the capacity of the highway Transport problems. - Volume 10. - Issue 3. - P. 53-59.

21. Golenkov V.A., Vasil'eva V.V. Kompleksnaya otsenka vozdeystviya avtotransporta na akusticheskuyu sredy gorodskikh territoriy / Pod obshchey redaktsiey A.N. Novikova // *Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* - Orel: FGBOU VPO «Gosudarstvennyy universitet - uchebno-nauchno-proizvodstvennyy kompleks». - 2015. - S. 168-178.

**Semkin Aleksandr Nikolayevich**  
NAVIGATOR Group of Companies  
Address: 302006, Russia, Orel, Moskovskaya str., 155  
CEO  
E-mail: nvg@ntcnvg.ru

**Shevlyakov Aleksandr Nikolayevich**  
NAVIGATOR Group of Companies  
Address: 302006, Russia, Orel, Moskovskaya str., 155  
Head of department  
E-mail: nvg@ntcnvg.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-60-67

С.В. ДОРОХИН, А.Ю. АРТЕМОВ

## **РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ В МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДАХ**

***Аннотация.** Статья посвящена вопросы развития методов управления транспортными потоками в городских транспортных системах малых и средних городов. Определенные условия управления транспортными потоками, характерные для малых и средних городов, требуют развития применяемых сегодня методов. С целью повышения эффективности управления, в частности применения координированного управления магистральных улиц в рамках данного исследования выполнено моделирование процесса движения и осуществлена оценка времени задержки при изменении интенсивности на рассматриваемом объекте исследования. Анализ полученных результатов, позволил установить определенные зависимости и выделить специализированные области, при которых необходимо изменение используемого вида управления.*

***Ключевые слова:** интенсивность движения, моделирование процесса движения, задержка автомобилей, координация, эффективность*

### **Введение**

Начиная с 2013 года в Российской Федерации активно развиваются и внедряются интеллектуальные транспортные системы (ИТС), которые позволяют во многом улучшить транспортную ситуацию за счет снижения заторов и упорядочивания движения [1-7]. Рассматриваемые системы представляют собой комплекс различного оборудования, которое позволяет управлять и контролировать движение. В связи с тем, что большинство таких систем располагаются на федеральных участках трасс и в крупнейших городах, в городах с малой численностью населения (до 100 тыс. человек), несмотря на аналогичные проблемы, связанные с заторовыми ситуациями и аварийностью, применение ИТС пока не реализуется в полной мере. В результате возникновения таких ситуаций, одним из альтернативных способов улучшения транспортной ситуации является применение новых методов и алгоритмов для работы имеющегося оборудования, особенно при осуществлении управления движением транспортными потоками.

При анализе основных способов управления, установлено что светофорное, на сегодняшний день, продолжает оставаться наиболее эффективным, что и объясняет его востребованность как с практической точки зрения, так и с научной [8-16]. Особое внимание в научном аспекте исследования светофорного управления уделяется методам и алгоритмам, их уточнению и совершенствованию. Следует отметить, что в основном, исполнительные элементы ИТС нового поколения, которые работают в комплексе располагаются на участках дорог крупных и крупнейших городов, где это в большей степени экономически обосновано. В малых и средних городах, обладающих отдельными видами исполнительных элементов, развитие интеллектуализации обеспечивается применением определенных методов и алгоритмов, которые в определенной степени поддерживают требуемые показатели, например при управлении транспортными потоками.

В большинстве городов Российской Федерации, имеются магистральные улицы, управление на которых координированно, но определенная загруженность связанных участков требует оперативного изменения циклов и как следствие, режимов управления [17-19]. Если в крупных и крупнейших городах имеются ресурсы для выполнения данных операций, в виду постоянного мониторинга через специализированные центры организации дорожного движения (ЦОДД), то отсутствие таких возможностей в малых и средних городах, приводит к возникновению транспортных проблем – заторов. С целью устранения такого рода проблем в рамках статьи определен один из возможных методов управления координированным участком и осуществлено его внедрение на примере малого города.

### Материал и методы

В ранее выполненном исследовании был разработан метод, который позволяет на основании учета сочетаний значений интенсивностей по координированному направлению и второстепенному, установив значение коэффициента по интенсивности ( $k_N$ ):

$$k_N = \frac{N_{\Pi}}{N_M}, \quad (1)$$

где  $N_{\Pi}$  – интенсивность прилегающих участков, второстепенных улиц, авт./ч;

$N_M$  – интенсивность магистральной, координируемой улицы, авт./ч.

А также учета сочетаний времени задержек, выраженных коэффициентом ( $k_{\bar{t}}$ ):

$$k_{\bar{t}} = \frac{t_{\Pi}}{t_M}, \quad (2)$$

где  $t_{\Pi}$  – среднее время задержки на второстепенных улицах, с;

$t_M$  – среднее время задержки на магистральной координируемой улице, с.

В результате постоянного мониторинга таких показателей как интенсивность и время задержки, возможно определить целесообразность применения координации, но в случае малых и средних городов возникает сложность, связанная с постоянным процессом мониторинга. В таком случае, в качестве альтернативного, является применение разработанного метода – применения введённого коэффициента эффективности координированного управления в зависимости от времени суток, с учетом накопленных данных по сочетанию интенсивностей дорожного движения.

Ранее выполненные исследования, позволили установить что для различных сочетаний интенсивностей, выраженных коэффициентом по интенсивности, характерно значение коэффициента задержки. Следует отметить, что в основном, в малых и средних городах транспортная система является устоявшейся, что позволяет установить определенные зависимости между рассматриваемыми показателями и определить области эффективного и не эффективного применения координации, что в сочетании с временным распределением рассматриваемых показателей позволит осуществить эффективное управление.

### Теория / Расчет

В качестве объекта исследования в рамках данной статьи определен управляемый участок магистральной улицы – ул. 40 лет Октября, расположенный в городе с населением около 25 тыс. человек – г. Павловск (рис. 1).

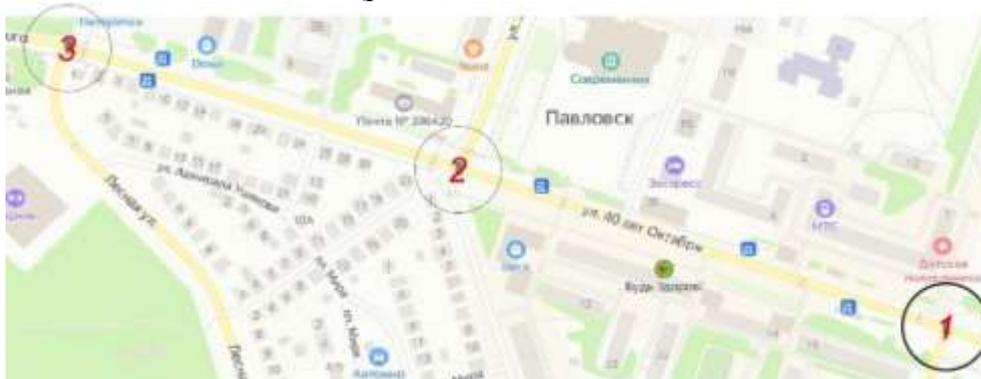


Рисунок 1 – Спутниковый снимок перекрестков по ул. 40 лет Октября, находящихся в координации (г. Павловск)

На сегодняшний день в координации находятся три перекрестка:

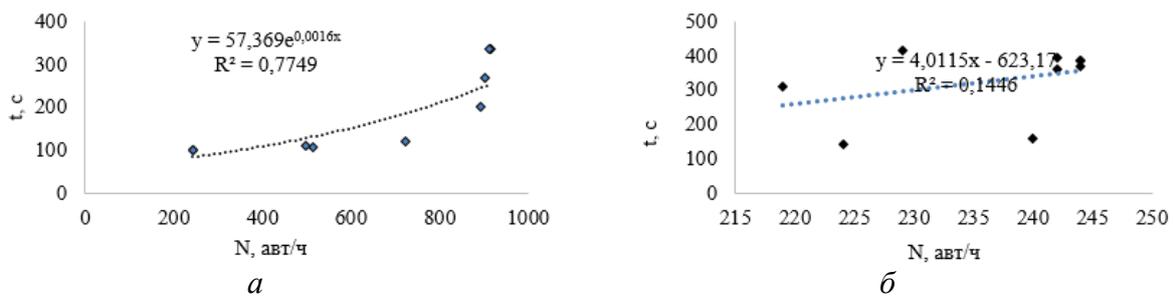
- 1) ул. 40 лет Октября – м-р. Гранитный;
- 2) ул. 40 лет Октября – ул. Гоголя;
- 3) ул. 40 лет Октября – ул. Лесная.

С использованием программного продукта AnyLogic 8.0, было выполнено построение имитационной модели исследуемого участка [20], в результате проверки адекватности моделирования по величине входящей и выходящей интенсивности, модель являлась адекватно, погрешность наблюдаемых значений находилась в пределах от 5 % - 8 % [21].

В результате моделирования и оценки величины задержки, в логику процесса были внесены данные по интенсивности движения, в различном соотношении от минимального до максимального (0,1-1,0).

**Результаты**

Выполненные процедуры позволили в качестве выходных параметров оценить изменение величины средней задержки, максимальной и минимальной, что представлено в таблице 1. Анализ полученных значений показал, что при увеличении интенсивности как на основном, так и на второстепенном направлении, происходит увеличение среднего времени задержки (рис. 2 а, б), установлено, что при увеличении интенсивности на магистральной улице, величина задержки с достаточно высокой долей вероятности увеличивается по экспоненциальному закону (рис. 2 а). В свою очередь, рассматриваемые показатели на второстепенных улицах, имеют достаточно хаотичное распределение, которое не подчиняется с большой степенью достоверности ни одному из известных законов распределения, данное явление свидетельствует о необходимости упорядочивания движения на таких улицах, особенно при увеличении количества автомобилей.



**Рисунок 2 – Точечные графики, отражающие изменение величины интенсивности и среднего времени задержки: а - на магистральной улице; б - на второстепенных улицах**

**Таблица 1 – Результаты моделирования процесса движения на магистральной улице малого города**

$k_N$	Наименование участков	N, авт./ч	$\bar{t}$	$t_{min}$	$t_{max}$	$k_{\bar{t}}$
0,27	Магистральная улица – ул. 40 лет Октября	893	203	86	297	1,91
	Второстепенные улицы – м-р Гранитный, ул. Гоголя, ул. Лесная	244	387	65	459	
0,25	Магистральная улица – ул. 40 лет Октября	915	335	102	396	1,24
	Второстепенные улицы – м-р Гранитный, ул. Гоголя, ул. Лесная	229	416	75	539	
0,47	Магистральная улица – ул. 40 лет Октября	514	109	78	147	3,32
	Второстепенные улицы – м-р Гранитный, ул. Гоголя, ул. Лесная	242	362	36	475	
0,48	Магистральная улица – ул. 40 лет Октября	499	110	78	161	3,58
	Второстепенные улицы – м-р Гранитный, ул. Гоголя, ул. Лесная	242	394	77	474	
1,00	Магистральная улица – ул. 40 лет Октября	243	101	78	144	3,65
	Второстепенные улицы – м-р Гранитный, ул. Гоголя, ул. Лесная	244	369	54	466	
1,01	Магистральная улица – ул. 40 лет Октября	242	101	78	145	3,81
	Второстепенные улицы – м-р Гранитный, ул. Гоголя, ул. Лесная	244	385	68	461	
0,33	Магистральная улица – ул. 40 лет Октября	724	123	78	185	1,29
	Второстепенные улицы – м-р Гранитный, ул. Гоголя, ул. Лесная	240	159	48	333	
0,24	Магистральная улица – ул. 40 лет Октября	911	336	97	397	0,93
	Второстепенные улицы – м-р Гранитный, ул. Гоголя, ул. Лесная	219	313	38	486	
0,25	Магистральная улица – ул. 40 лет Октября	902	270	85	390	0,53
	Второстепенные улицы – м-р Гранитный, ул. Гоголя, ул. Лесная	224	143	36	285	

Аналогичные точечные графики были получены и в сочетании с максимально наблюдаемым значением времени задержки (рис. 3 а, б) и минимальным (рис. 4 а, б).

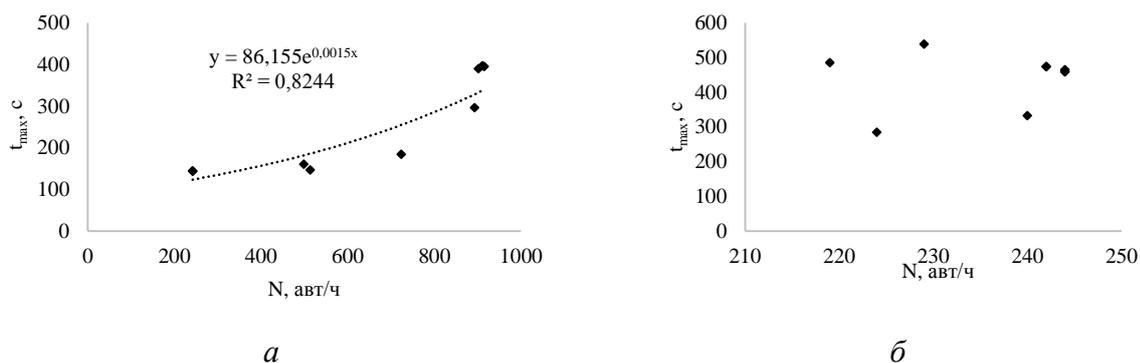


Рисунок 3 – Точечные графики, отражающие изменение величины интенсивности и максимально наблюдаемого времени задержки: а - на магистральной улице; б - на второстепенных улицах

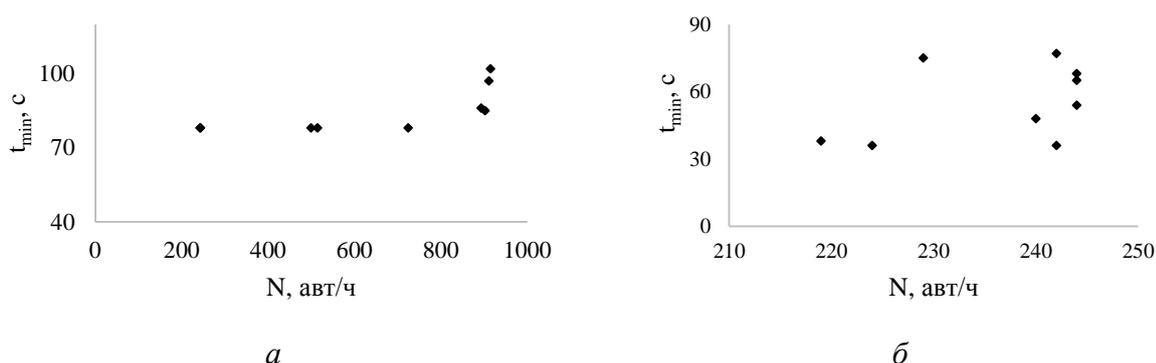


Рисунок 4 – Точечные графики, отражающие изменение величины интенсивности и минимально наблюдаемого времени задержки: а - на магистральной улице; б - на второстепенных улицах

Установлено, что характер зависимостей изменяется не значительно, тем не менее для установления функциональных зависимостей между относительными показателями – расчетными коэффициентами, также были построены точечные графики, которые были подразделены на определенные областях, в которых наблюдается значительное отклонение в первую очередь по соотношению задержек и требует изменения способа управления (рис. 5 а, б, в). В результате исследований и анализа полученных данных было установлено что при значении коэффициента интенсивности более 0,4, значение коэффициента задержек начинает значительно возрастать, так задержка на второстепенном направлении на примере рассматриваемой магистральной улицы начинает превосходить задержку наблюдаемой на магистральной улице более чем в 3 раза. Возникновение такого явления будет способствовать длительным простоям на второстепенных улицах, что может способствовать возникновению аварийных ситуаций. Для ликвидации возникновения таких условий для движения, полученные результаты были разделены на два предела по значению коэффициента интенсивности:

- $k_N \in [0,1; 0,4)$ ;
- $k_N \in (0,4; 1,1)$ .

Таким образом, в результате выполненных процедур были определены значения соотношений при которых необходимо осуществить изменение способа управления, в связи с тем, что длительность задержек на второстепенных улицах будет превышать длительность задержек на магистральных более чем в 3 раза, что безусловно требует корректировки режима управления.

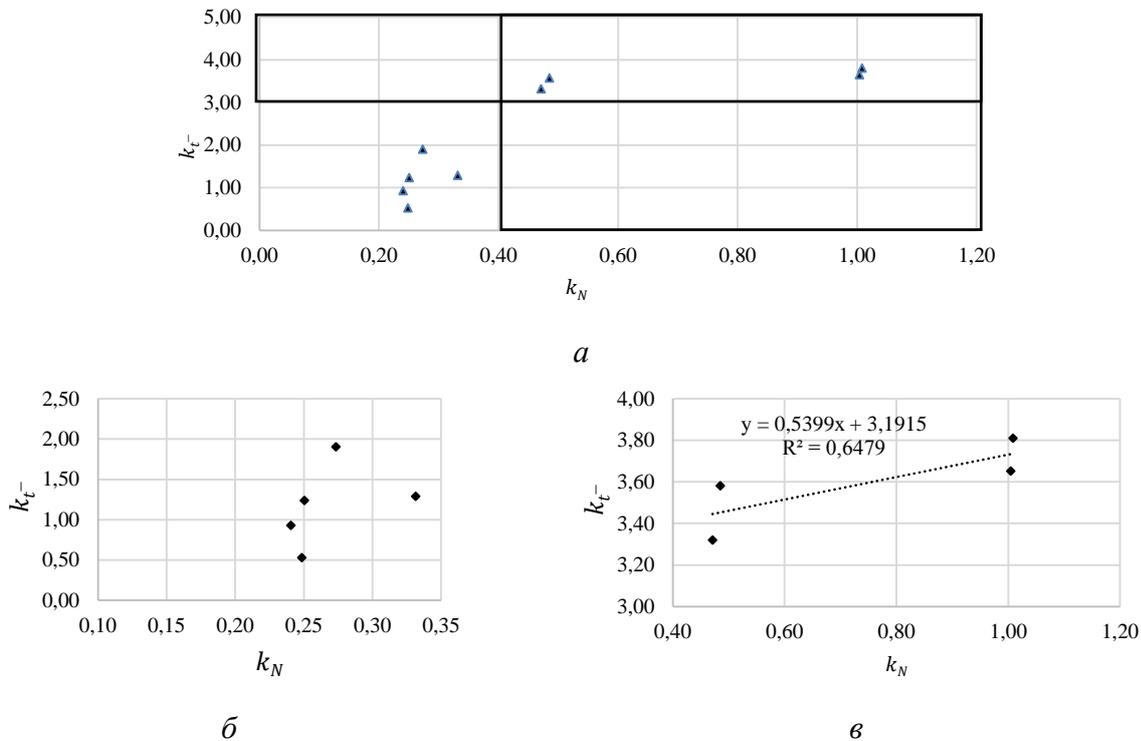


Рисунок 5 – Точечные графики, отражающие зависимость коэффициента интенсивности и коэффициента задержки: а - по результату анализа всего набора полученных данных; б -  $k_N \in [0,1; 0,4]$ ; в -  $k_N \in (0,4; 1,1)$

**Обсуждение**

Для учета полученных результатов на объектах улично-дорожной сети малых и средних городов предлагается использовать разработанный алгоритм (рисунок 6), который позволяет оценить эффективность координированного управления на магистральной улице.

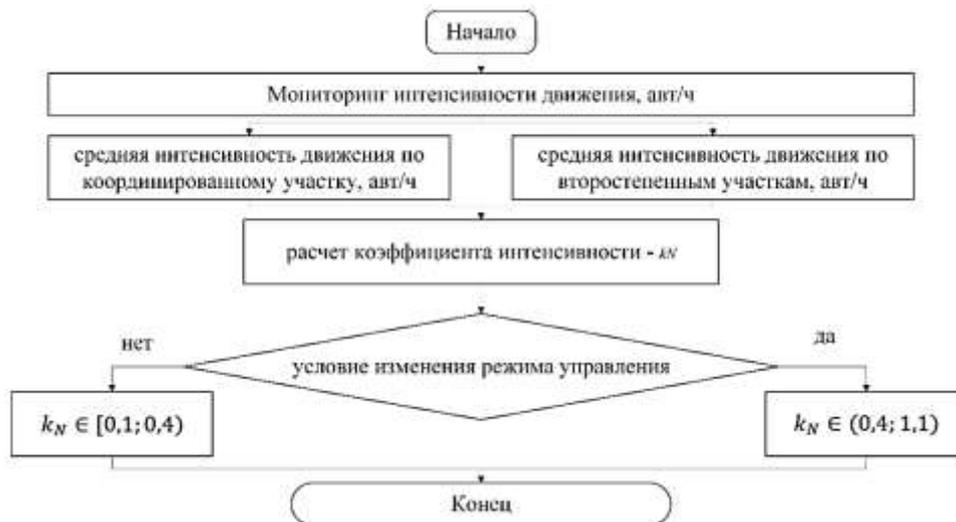


Рисунок 6 – Алгоритм оценки эффективности координации на магистральных улицах малых городов

Для реализации алгоритма необходим постоянный мониторинг интенсивности, в виду того, что в малых городах транспортная система является устоявшейся, возможно использование существующих данных или же выполнение разовых работ по суточному мониторингу в течении определенного периода времени, что позволит сформировать планы программ управления магистральных улиц. Выполненный мониторинг интенсивности движения на объекте исследования, позволяет усовершенствовать режимы управления и определить вре-

менные периоды применения координации и ее отсутствия, что в целом повышает эффективность управления за счет снижения задержек.

### **Выводы**

В результате выполненного исследования, были получены следующие результаты:

1. Моделирование процесса движения на объекте исследования позволило определить значение величины задержки при установленной интенсивности движения и осуществить расчет коэффициента интенсивности.

2. Выполненный анализ результатов моделирования и расчет позволили определить области при которых необходимо осуществить изменение режима управления, так при  $k_N \in (0,1; 0,4)$  координированное управление является эффективным, в связи с тем, что значение величины задержки на второстепенных участках не значительно превышает значение величины задержки на координированном; при  $k_N \in (0,4; 1,1)$ , координированное управление не является эффективным, т.к. на второстепенных улицах наблюдаются длительные простои, что требует изменения режима управления.

3. Усовершенствован алгоритм оценки эффективности магистральных улиц, применительно к малым городам, и предложен способ его применения.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Zhankaziev S., Gavrilyuk M., Morozov D., Zabudsky A. Scientific and methodological approaches to the development of a feasibility study for intelligent transportation systems // *Transportation Research Procedia*. – Saint Petersburg: Elsevier B.V. - 2018. – P. 841-847. – DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.068
2. Zhankaziev S., Vorob'yov A., Morozov D. Principles of creating range for testing technologies and technical solutions related to intelligent transportation systems and unmanned driving // *Transportation Research Procedia*. – Saint Petersburg. - 2020. – P. 757-765. – DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.091
3. Жанказиев С.В., Нгуен Х.М., Вздыхалкин В.Н., Карпов П.В. Применение интеллектуальных транспортных систем для снижения тяжести последствий ДТП // *Наука и техника в дорожной отрасли*. – 2019. – №2(88). – С. 2-4.
4. Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Воробьева Т.В. Концептуальные подходы к созданию комплексного полигона ИТС // *Транспорт Российской Федерации*. – 2020. – №3-4(88-89). – С. 31-35.
5. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS) // *Transportation Research Procedia: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities*. - Vol. 20. – Saint-Petersburg: Elsevier B.V. - 2017. – P. 455-462. – DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.074.
6. Боровской А.Е., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Внедрение интеллектуальных транспортных систем в рамках национальных программ повышения безопасности дорожного движения // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. – 2013. – №61-62. – С. 279-283.
7. Булатова О.Ю. Определение основных функций ИТС при организации дорожного движения во время проведения городских массовых мероприятий // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2022. – №3-2(78). – С. 63-68. – DOI: 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-63-68.
8. Шевцова А.Г., Мочалина Ю.А. Обзор новых технических средств организации дорожного движения // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. – 2015. – Т. 2. - №2(3). – С. 672-677. – DOI: 10.12737/19521.
9. Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. Основные принципы расчета программы светофорного регулирования на основе управляемых сетей и потока насыщения // *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. – 2019. – Т. 16. - №6(70). – С. 680-691. – DOI: 10.26518/2071-7296-2019-6-680-691.
10. Витолин С.В. Основы методологии управления транспортными потоками на улично-дорожной сети крупного города при светофорном регулировании // *Мир транспорта*. – 2020. – Т. 18. - №4(89). – С. 148-155. – DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-148-155.
11. Витолин С.В. Светофорное регулирование и безопасность дорожного движения // *Дороги и мосты*. – 2019. – №1(41). – С. 138-150.
12. Юргин И.В., Криволапова О.Ю. Подход к светофорному регулированию для оптимизации дорожного движения // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. – 2017. – Т. 5. - №6(32). – С. 126-130.
13. Зырянова С.А., Филимонова О.А. Использование информационных технологий для автоматизации расчета параметров светофорного регулирования // *Теория и практика современной науки*. – 2016. – №5(11). – С. 381-385.

14. Лихачев Д.В., Щербакова И.М., Приз С.В. К вопросу точности расчетов параметров светофорного регулирования // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. - 2014. - Т. 1. - №1(1). - С. 250-253.
15. Галюзин А.И., Чирков Е.В., Дорохин С.В. Исследование организации фаз светофорного регулирования // Воронежский научно-технический Вестник. - 2019. - Т. 3. - №3(29).
16. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Исследование степени насыщения пересечения при учете классификации легковых автомобилей // Автотранспортное предприятие. - 2014. - №5. - С. 51-53.
17. Артемов А.Ю., Дорохин С.В. Разработка алгоритма оценки эффективности координированного управления // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - №4-2(79). - С. 88-94. - DOI: 10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-88-94.
18. Дорохин С.В., Артемов А.Ю. Оценка эффективности работы координируемого участка // Воронежский научно-технический Вестник. - 2022. - Т. 2. - №2(40). - С. 64-73. - DOI: 10.34220/2311-8873-2022-64-73.
19. Пильгейкина И.А. Влияние эффекта координации на задержку транспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. - 2020. - №1(68). - С. 59-64. - DOI: 10.33979/2073-7432-2020-68-1-59-64.
20. Дорохин С.В., Лихачев Д.В., Артемов А.Ю., Марусин А.В. Моделирование процесса движения на магистральной улице г. Воронеж в программной среде AnyLogic // Воронежский научно-технический Вестник. - 2022. - Т. 4. - №4(42). - С. 73-84. - DOI: 10.34220/2311-8873-2022-73-84.
21. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования // Инженерный вестник Дона. - 2013. - №2(25). - С. 132.
22. Новиков И.А., Шевцова А.Г., Кравченко А.А., Бурлуцкая А.Г. Разработка методики адаптации модели регулируемого пересечения // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2020. - Т. 17/ - №6(76). - С. 726-735. - DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735.

**Дорохин Сергей Владимирович**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова  
Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8  
Д.т.н., доцент, декан Автомобильного факультета  
E-mail: dsvvrn@yandex.ru

**Артемов Александр Юрьевич**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова  
Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8  
Ст. преподаватель кафедры «Организация перевозок и безопасности движения»  
E-mail: artenov\_a\_u@mail.ru

---

S.V. DOROKHIN, A.Y. ARTEMOV

**DEVELOPMENT OF TRAFFIC MANAGEMENT METHODS  
IN SMALL AND MEDIUM CITIES**

***Abstract.** The article is devoted to the development of traffic flow management methods in urban transport systems of small and medium-sized cities. Certain conditions for managing traffic flows, typical for small and medium-sized cities, require the development of methods used today. In order to improve management efficiency, in particular, the use of coordinated management of main streets, within the framework of this study, the movement process was modeled and the delay time was estimated when the intensity changed at the object of study. The analysis of the obtained results made it possible to establish certain dependencies and identify specialized areas in which it is necessary to change the type of management used.*

***Keywords:** traffic intensity, traffic process modeling, car delay, coordination, efficiency*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Zhankaziev S., Gavrilyuk M., Morozov D., Zabudsky A. Scientific and methodological approaches to the development of a feasibility study for intelligent transportation systems // Transportation Research Procedia. - Saint Petersburg: Elsevier B.V. - 2018. - P. 841-847. - DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.068
2. Zhankaziev S., Vorob'yov A., Morozov D. Principles of creating range for testing technologies and technical solutions related to intelligent transportation systems and unmanned driving // Transportation Research Procedia. - Saint Petersburg. - 2020. - P. 757-765. - DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.091
3. Zhankaziev S.V., Nguen H.M., Vzdykhalkin V.N., Karpov P.V. Primenenie intellektual'nykh transportnykh sistem dlya snizheniya tyazhesti posledstviy DTP // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. - 2019. - №2(88). - S. 2-4.
4. Zhankaziev S.V., Vorob`ev A.I., Vorob`eva T.V. Kontseptual'nye podkhody k sozdaniyu kompleksnogo poligona ITS // Transport Rossiyskoy Federatsii. - 2020. - №3-4(88-89). - S. 31-35.

5. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS) // *Transportation Research Procedia: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities»*. - Vol. 20. - Saint-Petersburg: Elsevier B.V. - 2017. - P. 455-462. - DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.074.
6. Borovskoy A.E., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Vnedrenie intellektual`nykh transportnykh sistem v ramkakh natsional`nykh programm povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // *Vestnik Har`kovskogo natsional`nogo avtomobil`no-dorozhnogo universiteta*. - 2013. - №61-62. - S. 279-283.
7. Bulatova O.Yu. Opredelenie osnovnykh funktsiy ITS pri organizatsii dorozhnogo dvizheniya vo vremya provedeniya gorodskikh massovykh meropriyatiy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2022. - №3-2(78). - S. 63-68. - DOI: 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-63-68.
8. Shevtsova A.G., Mochalina Yu.A. Obzor novykh tekhnicheskikh sredstv organizatsii dorozhnogo dvizheniya // *Al`ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy ratsional`nogo ispol`zovaniya*. - 2015. - T. 2. - №2(3). - S. 672-677. - DOI: 10.12737/19521.
9. Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G. Osnovnye printsipy rascheta programmy svetofornogo regulirovaniya na osnove upravlyaemykh setey i potoka nasyshcheniya // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil`no-dorozhnogo universiteta*. - 2019. - T. 16. - №6(70). - S. 680-691. - DOI: 10.26518/2071-7296-2019-6-680-691.
10. Vitolin S.V. Osnovy metodologii upravleniya transportnymi potokami na ulichno-dorozhnoy seti krupnogo goroda pri svetofornom regulirovanii // *Mir transporta*. - 2020. - T. 18. - №4(89). - S. 148-155. - DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-148-155.
11. Vitolin S.V. Svetofornoe regulirovanie i bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya // *Dorogi i mosty*. - 2019. - №1(41). - S. 138-150.
12. Yurgin I.V., Krivolapova O.Yu. Podkhod k svetofornomu regulirovaniyu dlya optimizatsii dorozhnogo dvizheniya // *Aktual`nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*. - 2017. - T. 5. - №6(32). - S. 126-130.
13. Zyryanova S.A., Filimonova O.A. Ispol`zovanie informatsionnykh tekhnologiy dlya avtomatizatsii rascheta parametrov svetofornogo regulirovaniya // *Teoriya i praktika sovremennoy nauki*. - 2016. - №5(11). - S. 381-385.
14. Likhachev D.V., Shcherbakova I.M., Priz S.V. K voprosu tochnosti raschetov parametrov svetofornogo regulirovaniya // *Al`ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy ratsional`nogo ispol`zovaniya*. - 2014. - T. 1. - №1(1). - S. 250-253.
15. Galyuzin A.I., Chirkov E.V., Dorokhin S.V. Issledovanie organizatsii faz svetofornogo regulirovaniya // *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii Vestnik*. - 2019. - T. 3. - №3(29).
16. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Issledovanie stepeni nasyshcheniya peresecheniya pri uchete klassifikatsii legkovykh avtomobiley // *Avtotransportnoe predpriyatie*. - 2014. - №5. - S. 51-53.
17. Artemov A.Yu., Dorokhin S.V. Razrabotka algoritma otsenki effektivnosti koordinirovannogo upravleniya // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2022. - №4-2(79). - S. 88-94. - DOI: 10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-88-94.
18. Dorokhin S.V., Artemov A.YU. Otsenka effektivnosti raboty koordiniruемого uchastka // *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii Vestnik*. - 2022. - T. 2. - №2(40). - S. 64-73. - DOI: 10.34220/2311-8873-2022-64-73.
19. Pil`geykina I.A. Vliyaniye efekta koordinatsii na zaderzhku transportnykh sredstv // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2020. - №1(68). - S. 59-64. - DOI: 10.33979/2073-7432-2020-68-1-59-64.
20. Dorokhin S.V., Likhachev D.V., Artemov A.YU., Marusin A.V. Modelirovaniye protsessa dvizheniya na magistral`noy ulitse g. Voronezh v programmnoy srede AnyLogic // *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii Vestnik*. - 2022. - T. 4. - №4(42). - S. 73-84. - DOI: 10.34220/2311-8873-2022-73-84.
21. Zyryanov V.V. Metody otsenki adekvatnosti rezul`tatov modelirovaniya // *Inzhenernyy vestnik Dona*. - 2013. - №2(25). - S. 132.
22. Novikov I.A., Shevtsova A.G., Kravchenko A.A., Burlutskaya A.G. Razrabotka metodiki adaptatsii modeli reguliruемого peresecheniya // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil`no-dorozhnogo universiteta*. - 2020. - T. 17/ - №6(76). - S. 726-735. - DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735.

**Dorokhin Sergey Vladimirovich**

Voronezh State Forest Engineering University  
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazev str., 8  
Doctor of technical sciences  
E-mail: dsvvrn@yandex.ru

**Artemov Alexander Yurievich**

Voronezh State Forest Engineering University  
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazev str., 8  
Lecturer  
E-mail: artenov\_a\_u@mail.ru

Научная статья

УДК 656.05

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-68-75

С.Н. ГЛАГОЛЕВ, И.А. НОВИКОВ, Л.Е. КУЩЕНКО, Л.А. КОРОЛЕВА

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

*Аннотация.* В работе проведен анализ статистики дорожно-транспортных происшествий в городской агломерации. Выявлены участки улично-дорожной сети с повторяющимися видами дорожных аварий. Рассмотрены вопросы развития теории моделирования транспортных потоков. Разработана модель нечеткого вывода, базирующаяся на основных данных дорожно-транспортной ситуации. Сформулирована база правил, позволяющая определять скорость движения транспортного потока в зависимости от параметров транспортного потока и дорожной ситуации.

*Ключевые слова:* транспортное средство, нечеткое моделирование, затор, дорожно-транспортное происшествие, улично-дорожная сеть, агломерация

### **Введение**

Ежегодно в автомобильных катастрофах во всем мире погибают более 1 миллиона человек, а также более 50 миллионов человек травмируются. Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) возникают в большинстве случаев по вине водителей и в зависимости от дорожно-транспортной ситуации (ДТС). В связи с этим имеется возможность предотвратить вероятность возникновения ДТП или хотя бы снизить тяжесть их последствий.

ДТП на сегодняшний день относятся к главной причине смертности молодых людей до 29 лет по всему миру. По статистике в России в 2021 году 133 тысячи автомобильных аварий было с пострадавшими. В них погибло почти 15 тысяч человек и ещё порядка 168 тысяч пострадало. Экономическое развитие агломераций, областей и страны в целом зависит от показателей статистики ДТП [17].

Автомобильный транспорт является главной составляющей повседневной жизни человека. Мировая автомобильная промышленность ежегодно выпускает более 50 млн. автомобилей. Невозможно представить современный мир без перевозок, которые обеспечивают нормальное функционирование промышленности, строительной индустрии, торговли и других сфер деятельности [11]. Главным вопросом на протяжении многих лет является вопрос повышения безопасности дорожного движения (БДД). Вопросу обеспечения и повышения БДД выделена особая ячейка, так как развитие страны тесно связано с успешной жизнью граждан.

В настоящее время значительное количество стран мира ведут борьбу за уменьшение количества погибших и раненых на дорогах. Как показывает статистика ДТП, у многих стран мира получилось повысить уровень БДД, приблизиться к концепции «нулевая смертность», но за последний промежуток времени становится все сложнее и сложнее достигать нужного уровня в БДД. Также сохраняется тенденция повышения уровня БДД во многих странах, а вот в некоторых уровень безопасности движения значительно ухудшился.

Многие страны мира ставили для себя планку по повышению БДД и снижению смертности на дорогах, однако не всем удалось решить, поставленные задачи.

Практически все крупные населенные пункты объединяются в динамическую, единую структуру, которая образует целые государства. Сложившиеся агломерации имеют транспортные, экономические и другие взаимосвязи. В результате сложившихся обстоятельств имеется необходимость в детальном изучении участков УДС, где регулярно по различным причинам возникают ДТП, для дальнейшей разработки мероприятий, совершенствующих качество ОДД.

Для ликвидации основных проблем и достижения основной стратегической цели развития национальной транспортной системы, распоряжением правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р утверждена Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (далее – Стратегия).

© С.Н. Глаголев, И.А. Новиков, Л.Е. Кущенко, Л.А. Королева, 2023

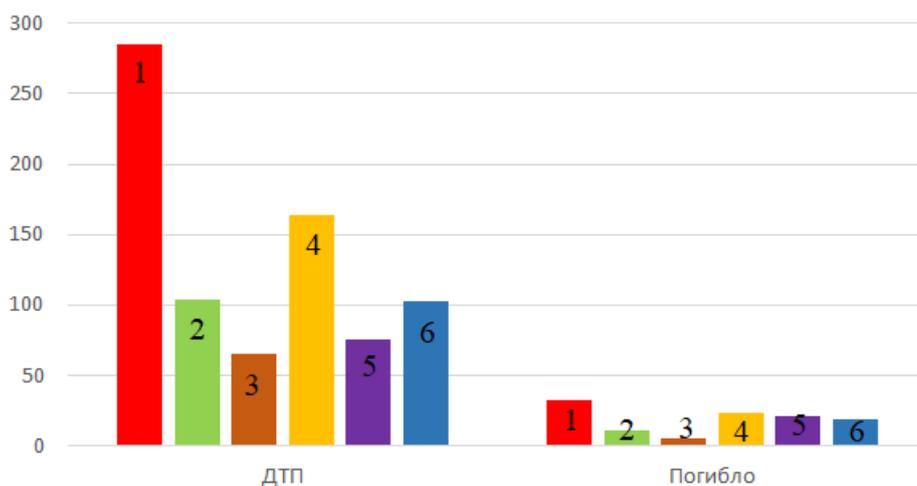


Рисунок 1 – Количество ДТП и погибших на исследуемых участках Белгородской агломерации:  
1 – Шебекино; 2 – Северное; 3 – Майский; 4 – Новосадовый; 5 – Стрелецкое; 6 – Дубовое

### Теория

В представленной рукописи применена теория нечетких множеств. Нечеткое моделирование дает возможность получить верные результаты, которые основываются на использовании стандартных способов и форм, алгоритмов управления. Изображение первичных данных в формате нечеткой информации дает возможность выполнить модели, которые правильно объясняют множество различий неопределенности, постоянно присутствующих в существующем мире [1, 2].

При работе с нечеткой логикой, разрабатывая модель, необходимо пройти через определенный алгоритм, выполнив представленные ниже этапы.

1. Фаззификация: разработка процедуры перехода от четких значений входных переменных к нечетким. Выбор вида и взаимного расположения ФП входных лингвистических переменных.

2. Агрегирование: разработка процедуры, определяющей степени истинности условий по каждому из правил.

3. Активизация: разработка процедуры, определяющей степени истинности заключений по каждому из правил.

4. Аккумуляция: разработка процедуры объединения степеней истинности заключений по всей базе правил.

5. Дефаззификация: разработка процедуры перехода от нечеткого значения выходной переменной к четкому [1, 7].

### Материал и методы

Проведенный литературный обзор российских и зарубежных ученых показал, что огромное количество исследователей в области транспорта, математики, физики и других наук значительное время уделяли теории транспортных потоков, хотя транспортный процесс относится к мало и недостаточно изученным вопросам. Существует ряд факторов, которые учитывают в транспортном процессе, представленные в научных работах [8-10, 12, 13].

При изучении движения транспортного потока необходимы альтернативные методы исследования и в области моделирования транспортных потоков. Еще в 1912 году профессор Дубелиром Г.Д. были заложены основы математического моделирования закономерностей дорожного движения.

Наиболее популярной является классификация по уровню детализации транспортного потока [16, 18], где выделяют макроскопические модели, мезоскопические модели, микроскопические модели, субмикроскопические модели.

Рассмотрим более подробно микроскопические модели. В микроскопических моделях происходит описание каждого транспортного средства в отдельности. После появления мощных технических инструментов и машин, позволяющих выполнять большой объем различных математических операций, стало популярным применение микроскопических моделей. Такие

модели хорошо подходят для представления движения по дороге с несколькими полосами, потому что могут описывать реалистичные правила перемещения автомобилей [5, 8, 15, 19].

Модель «следования за лидером» была одной из первых [8], разработали ее А. Решель (1950) и Л. Пайпс (1953). Основной идеей является взаимодействие главного автомобиля и следующие за ним. Данную теорию постоянно преобразовывали, добавляя изменения, учитывающие время реакции водителя и другие.

В 1959 г. работниками автоконцерна General Motors [9] была представлена небольшая модель, которая применима для отображения одной полосы движения. При использовании данной модели, значения представляются в виде фундаментальной диаграммы. В 1961 году была создана модель Ньюелла [20]. Данная модель базировалась на следующих гипотезах: каждый водитель совершает движение со своей безопасной скоростью в зависимости от расстояния до лидера.

Таким образом, воспроизведенные модели можно объединить в одну модель. Представленная модель получила свое название – модель «разумного водителя» [3]. В 1999 г. эту модель предложил Трайбер. Модель «разумного водителя» основывается на движении, которое описывается как совокупность нескольких стратегий: ускорения и торможения. С учетом анализа расстояний до впереди следующего автомобиля определяется приоритет одной из них. Модель Трайбера включает в себя и психофизиологические характеристики водителей для практического моделирования.

Аппаратом для осуществления микроскопических моделей послужили клеточные автоматы [9]. В 1950-х г. эту модель представил Дж. Фон Нейман [3]. Принцип работы моделей клеточных автоматов заключается в следующем: дорога делится на клетки, а время рассматривается как дискретная переменная. Достоинством такого метода считается выкопроизводительность в результате компьютерного моделирования. Из-за дискретной природы клеточного автомата, возникает низкая точность в микроскопических участках, что является недостатком данной модели.

Следствием труда с микромоделями являются такие данные, как: протяженность очереди, период замедления автомобилей, средняя, максимальная и минимальная скорости, а также период движения транспортных средств. Главное преимущество микроскопических моделей – это получение баллов с максимальной точностью. Действительно, наибольшая степень детализации в микроскопических моделях развивает следующие недостатки: для сбора начальных данных необходимо большое количество источников; с целью получения верных результатов необходимо значительное количество проведения тестирования модели, необходимость осуществления калибровки данных; высокая восприимчивость к неверным шагам в начальной информации; затруднения в извлечении аналитических зависимостей [15].

На сегодняшний день, изучения в области управления движением транспортного потока, которое повышает БДД с применением моделирования транспортных потоков является значимым и актуальным.

Таким образом, рассмотренные модели имеют ряд достоинств, но и без недостатков не обойтись, которые не до конца учитывают свойства транспортного потока, что свидетельствует об отсутствии конечной модели транспортного потока [3-5].

### ***Результаты и обсуждение***

При исследовании улично-дорожной сети (УДС) городской агломерации были выявлены участки, требующие особого внимания в области БДД. С помощью документального обследования и карточек учета ДТП были изучены и выявлены причины возникновения ДТП. Проведя анализ ДТС городской агломерации на исследуемых участках, было принято решение о разработке математической модели, позволяющей управлять скоростью движения транспортного потока, что позволит повысить БДД и приблизиться к концепции «нулевая смертность» [14].

Для разработки модели были приняты три входных ( $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ) и одна выходная ( $\beta_4$ ) лингвистические переменные для нечеткой модели управления скоростью движения транспортного потока в городской агломерации.

В качестве входных лингвистических переменных определены:

$\beta_1$  – интенсивность движения транспортного потока;

$\beta_2$  – темп изменения количества ДТП, происходящих на определенных участках УДС;

$\beta_3$  – коэффициент безопасности;

$\beta_4$  – рекомендуемая скорость движения.

Для описания каждой переменной вводятся ФП, равномерно распределенные по всему диапазону изменения.

Для  $\beta_1$  определены значения из статистических данных:

- VS (Very Small) – «очень малое» [0; 0; 300; 1250];

- S (Small) – «малое» [0; 1250; 2500];

- M (Medium) – «среднее» [1250; 2500; 3750];

- B (Big) – «большое» [2500; 3750; 5000];

- VB (Very Big) – «очень большое» [3750; 4700; 5000; 5000].

На рисунке 2 представлены ФП для лингвистической переменной  $\beta_1$  «Интенсивность движения транспортного потока». Полученные результаты по интенсивности движения были собраны в ходе эксперимента, проведенного в течение четырех лет.

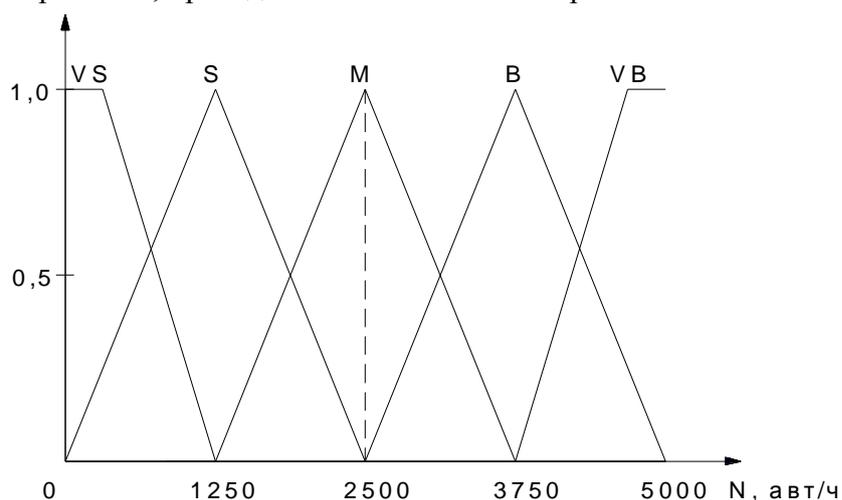


Рисунок 2 – Функции принадлежности для лингвистической переменной  $\beta_1$  «Интенсивность движения транспортного потока»

По аналогии и собранным экспериментальным данным были определены термы и функции принадлежности для всех остальных переменных. После чего в редакторе Matlab изобразили все функции принадлежности. Ниже на рисунке 3 отображен графический интерфейс редактора функций принадлежности для входной лингвистической переменной «Интенсивность движения транспортного потока».

По аналогии для оставшихся переменных строятся ФП. В нашей работе составлены 45 правил нечеткой продукции для системы управления скоростью движения транспортного потока. Данные получены по результатам анализа карточек ДТП на исследуемых участках городской агломерации и имеющейся таблицы коэффициентов безопасности [6].

Далее представлены пять характерных правил нечеткого вывода в качестве примера:

1) ЕСЛИ  $\beta_1 = VS$  И  $\beta_2 = NS$  И  $\beta_3 = S$  ТО  $\beta_4 = M$ ;

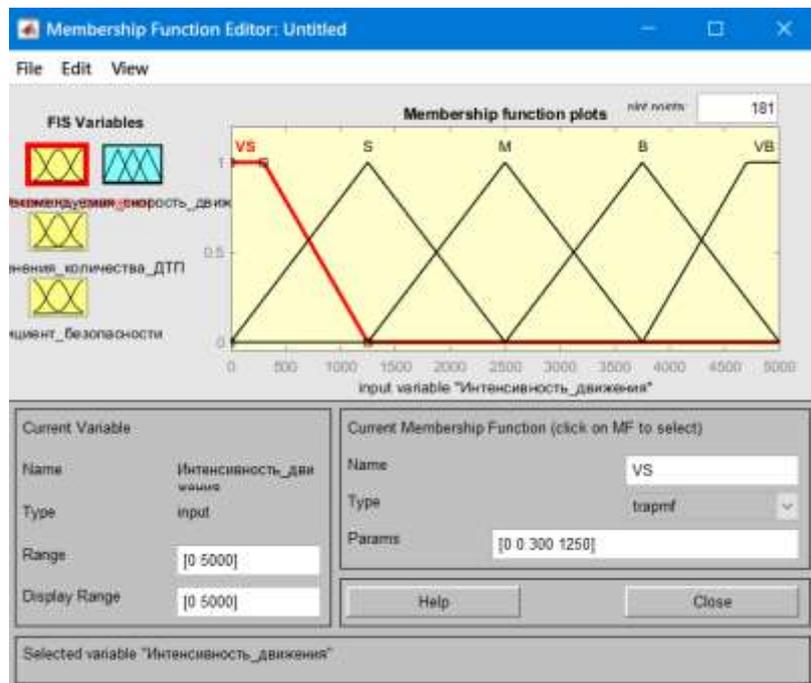
2) ЕСЛИ  $\beta_1 = S$  И  $\beta_2 = Z$  И  $\beta_3 = M$  ТО  $\beta_4 = B$ ;

3) ЕСЛИ  $\beta_1 = M$  И  $\beta_2 = PS$  И  $\beta_3 = B$  ТО  $\beta_4 = M$ ;

4) ЕСЛИ  $\beta_1 = B$  И  $\beta_2 = Z$  И  $\beta_3 = S$  ТО  $\beta_4 = S$ ;

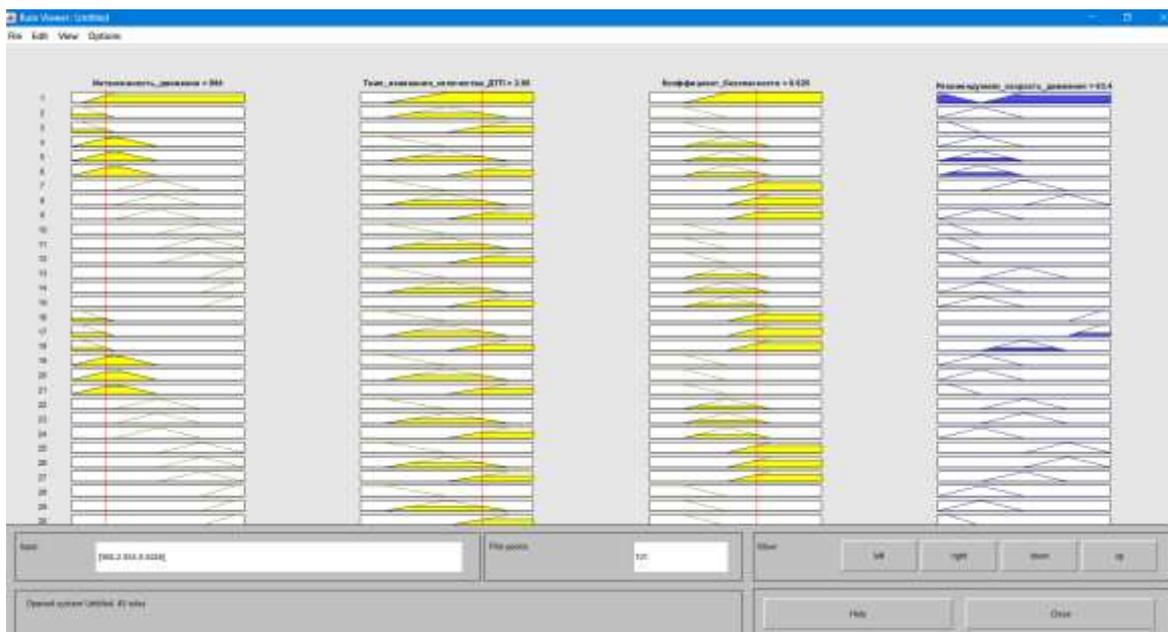
5) ЕСЛИ  $\beta_1 = VB$  И  $\beta_2 = NS$  И  $\beta_3 = B$  ТО  $\beta_4 = M$ .

Для того, чтобы было понятно описание правил, одно из них представим в следующем виде: если «Интенсивность движения транспортного потока»  $\beta_1$  – «очень малое» (VS – Very Small) И «Темп изменения количества ДТП, происходящих на определенных участках УДС»  $\beta_2$  – «отрицательное малое» (NS – Negative Small) И «Коэффициент безопасности»  $\beta_3$  – «малое» (S – Small), ТО «Рекомендуемая скорость движения»  $\beta_4$  – «среднее» (M – Medium).



*Рисунок 3 – Графический интерфейс редактора ФП для входной переменной*

В ходе выполненных расчетов в программной среде Matlab представлен пример в виде числовых значений сигнала управления движением транспортного потока:  $\beta_1 = 984$  – интенсивность движения транспортного потока;  $\beta_2 = 2,85$  – это свидетельствует о том, что темп изменения количества ДТП имеет различный характер;  $\beta_3 = 0,625$  – значение коэффициента безопасности. В результате процесса нечеткого вывода получили, что  $\beta_4 = 63$  – рекомендуемая скорость движения. После выполнения процедуры нечеткого вывода на рисунке 4 изображен графический интерфейс программы просмотра правил.



*Рисунок 4 – Графический интерфейс программы просмотра правил после выполнения процедуры нечеткого вывода*

Для проведения анализа полученной модели управления транспортным потоком за счет изменения скорости движения при различных дорожных условиях, необходимо воспользоваться визуализацией поверхности нечеткого вывода для дальнейшей оценки адекватности модели.

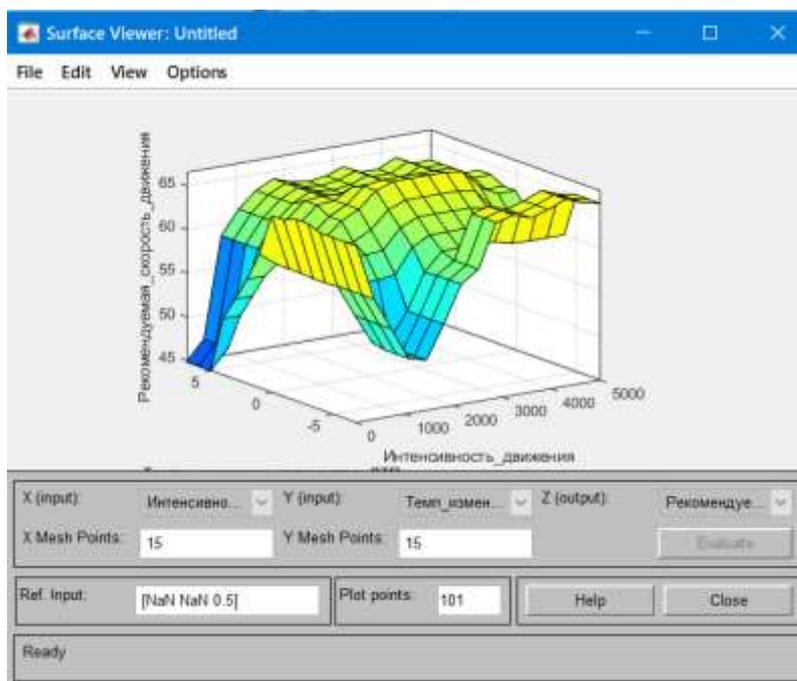


Рисунок 5 – Графическое отражение поверхности нечеткого вывода

### Выводы

Таким образом, полученная модель управления движением транспортного потока за счет изменения скорости движения при меняющейся ДТС, позволяет снизить вероятность возникновения ДТП, тем самым повысив БДД. На рисунке 5 изображенная поверхность нечеткого вывода представляет зависимость между выходной и входными лингвистическими переменными.

Следовательно, основой для программирования табло или управляемых знаков будет полученная зависимость, а реализация нечеткого алгоритма управления в свою очередь представлена в виде табличных значений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – С. 736.
2. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – С. 165.
3. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах: Учебное пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – С. 200.
4. Кущенко Л.Е., Новиков И.А. Аналитическое решение вопроса заторообразования на основе нечеткой логики [Электронный ресурс] / Прогрессивные технологии транспорта и безопасности дорожного движения: материалы междунар. научно-практ. конф.– Саратов. – 2015. – Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2015/95570.htm>.
5. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – С. 184.
6. Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебное пособие. – Пенза: ПГУАС, 2005. – С. 260.
7. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – С. 798.
8. Cremer M., Ludwig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations // Math. Comp Simul. - 1986. - V. 28. - P. 297-303.
9. Helbing D. Traffic and related self-driven many-particle systems Revs // Mod. Phys. - 2001. - №73. - P. 1067-1141.
10. Kerner B.S. Three-phase traffic theory and highway capacity // Mod. phys. statistical mechanics and its applications. - 2004. - №333(1). - P. 379-440.
11. Гай Л.Е., Шутов А.И., Воля П.А., Кущенко С.В. Заторовые явления. Возможности предупреждения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – №3. – С.166-169.

12. Korchagin V.A., Novikov A.N., Lyapin S.A., Novikov I.A., Konovalova V.A. Process modeling in the subsystem of traffic accident consequence liquidation // International journal of pharmacy and technology. - 2016. - Т. 8. - №3. - P. 15262-15270.
13. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS) // Transportation research procedia: 12th International Conference «Organization and traffic safety management in large cities». – SPb: OTSIC. - 2016. - P. 455-462.
14. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Novikov I. The planning and conducting transport and transport-sociological surveys for the development of a local project of the Belgorod urban agglomeration // Journal of applied engineering science. – 2021. - Vol. 19(3). - P. 706-711.
15. Kushchenko L., Kushchenko S., Kambur A., Novikov A. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration // Journal of applied engineering science. – 2022. - Vol. 20 (3). - P. 700-706.
16. Власов А.А. Теория транспортных потоков: Монография. - Пенза: ПГУАС, 2014. - С. 124.
17. Нововести Госавтоинспекции [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www.gibdd.ru](http://www.gibdd.ru).
18. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. - СПб. – №1. - 2011. – С. 28-33.
19. Коноплянко В.И., Зырянов В.В., Воробьев Ю.В. Основы управления автомобилем и безопасность дорожного движения: Учебное пособие. - Москва: Высш. шк., 2005. – С. 125.
20. Жанказиев С.В., Медведев В.Е., Соломатин А.В., Варламов О.О., Ивахненко А.М. Решение задачи регулирования дорожного движения на основе автоматизированной системы управления // В мире научных открытий. - Красноярск: Научно-инновационный центр. – 2012. - №2.5(26). – С. 124-129.

**Глаголев Сергей Николаевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, улица Костюкова, 46  
Д.э.н., профессор, ректор  
E-mail: [rector@intbel.ru](mailto:rector@intbel.ru)

**Новиков Иван Алексеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, улица Костюкова, 46  
Д.т.н., профессор кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта  
E-mail: [ooows@mail.ru](mailto:ooows@mail.ru)

**Кущенко Лилия Евгеньевна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, улица Костюкова, 46  
К.т.н., доцент кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта  
E-mail: [lily-041288@mail.ru](mailto:lily-041288@mail.ru)

**Королева Лилия Александровна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, улица Костюкова, 46  
Аспирант  
E-mail: [koroleva\\_liliy@mail.ru](mailto:koroleva_liliy@mail.ru)

---

S.N. GLAGOLEV, I.A. NOVIKOV, L.E. KUSHCHENKO, L.A. KOROLEVA

**THE DEVELOPMENT OF THE TRAFFIC FLOW CONTROL  
MATHEMATICAL MODEL**

***Abstract.** The paper analyzes the statistics of traffic accidents in the urban agglomeration. Sections of the road network with repeated types of traffic accidents have been identified. The issues of development of the theory of modeling of transport flows are considered. A fuzzy inference model based on the basic data of the traffic situation has been developed. A rule base has been formulated that allows determining the speed of traffic flow depending on the parameters of the traffic flow and the traffic situation.*

***Keywords:** vehicle, fuzzy modeling, traffic accident, traffic congestion, road network, agglomeration*

BIBLIOGRAPHY

1. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzy TECH. - SPb.: BHV-Peterburg, 2005. - S. 736.
2. Zade L.A. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh resheniy: Per. s angl. - M.: Mir, 1978. - S. 165.
3. Demenkov N.P. Nechetkoe upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh: Uchebnoe posobie. - M.: MGTU im. N.E. Baumana, 2005. - S. 200.
4. Kushchenko L.E., Novikov I.A. Analiticheskoe reshenie voprosa zatoroobrazovaniya na osnove nechetkoy logiki [Elektronnyy resurs] / Progressivnye tekhnologii transporta i bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: materialy mezhdunar. nauchno-prakt. konf.- Saratov. - 2015. - Rezhim dostupa: <http://e-koncept.ru/2015/95570.htm>.
5. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinyatie resheniy na osnove nechetkikh modeley: Primery ispol`zovaniya. - Riga: Zinatne, 1990. - S. 184.
6. Domke E.R. Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy: uchebnoe posobie. - Penza: PGUAS, 2005. - S. 260.
7. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie: per. s angl. - 2-e izd. - M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2013. - S. 798.
8. Cremer M., Ludwig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations // Math. Comp Simul. - 1986. - V. 28. - P. 297-303.
9. Helbing D. Traffic and related self-driven many-particle systems Revs // Mod. Phys. - 2001. - №73. - R. 1067-1141.
10. Kerner B.S. Three-phase traffic theory and highway capacity // Mod. phys. statistical mechanics and its applications. - 2004. - №333(1). - R. 379-440.
11. Gay L.E., Shutov A.I., Volya P.A., Kushchenko S.V. Zatorovye yavleniya. Vozmozhnosti preduprezhdeniya // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. - 2013. - №3. - S.166-169.
12. Korchagin V.A., Novikov A.N., Lyapin S.A., Novikov I.A., Konovalova V.A. Process modeling in the sub-system of traffic accident consequence liquidation // International journal of pharmacy and technology. - 2016. - T. 8. - №3. - R. 15262-15270.
13. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS) // Transportation research procedia: 12th International Conference «Organization and traffic safety management in large cities». - SPb: OTSIC. - 2016. - R. 455-462.
14. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Novikov I. The planning and conducting transport and transport-sociological surveys for the development of a local project of the Belgorod urban agglomeration // Journal of applied engineering science. - 2021. - Vol. 19(3). - R. 706-711.
15. Kushchenko L., Kushchenko S., Kambur A., Novikov A. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration // Journal of applied engineering science. - 2022. - Vol. 20 (3). - R. 700-706.
16. Vlasov A.A. Teoriya transportnykh potokov: Monografiya. - Penza: PGUAS, 2014. - C. 124.
17. Novovsti Gosavtoinspektsii [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: [www.gibdd.ru](http://www.gibdd.ru).
18. Zyryanov V.V., Kocherga V.G., Pozdnyakov M.N. Sovremennye podkhody k razrabotke kompleksnykh skhem organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Transport Rossiyskoy Federatsii. - SPb. - №1. - 2011. - S. 28-33.
19. Konoplyanko V.I., Zyryanov V.V., Vorob`ev Yu.V. Osnovy upravleniya avtomobilem i bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya: Uchebnoe posobie. - Moskva: Vyssh. shk., 2005. - S. 125.
20. Zhankaziev S.V., Medvedev V.E., Solomatin A.V., Varlamov O.O., Ivakhnenko A.M. Reshenie zadachi regulirovaniya dorozhnogo dvizheniya na osnove avtomatizirovannoy sistemy upravleniya // V mire nauchnykh ot-krytiy. - Krasnoyarsk: Nauchno-innovatsionnyy tsentr. - 2012. - №2.5(26). - S. 124-129.

**Glagolev Sergey Nikolaevich**

Belgorod state technological university  
Doctor of economic sciences  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
E-mail: [rector@intbel.ru](mailto:rector@intbel.ru)

**Novikov Ivan Alekseevich**

Belgorod state technological university  
Doctor of technical science  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
E-mail: [ooows@mail.ru](mailto:ooows@mail.ru)

**Kushchenko Liliya Evgen'evna**

Belgorod state technological university  
Candidate of technical science  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
E-mail: [lily-041288@mail.ru](mailto:lily-041288@mail.ru)

**Koroleva Liliya Aleksandrovna**

Belgorod state technological university  
Graduate student  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
E-mail: [koroleva\\_liliy@mail.ru](mailto:koroleva_liliy@mail.ru)

Научная статья

УДК 629.051

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-76-86

С.В. ЕРЕМИН, А.Н. НОВИКОВ, Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА, А.В. КУЛЕВ, М.В. КУЛЕВ

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДЕ КРАСНОЯРСКЕ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы повышения эффективности организации дорожного движения на основе интеллектуальных транспортных технологий. В основе предложенной методики лежит разработанная факторная модель максимизации пропускной способности участка улично-дорожной сети, позволяющая установить взаимосвязь значений интенсивностей транспортных потоков в различных направлениях. Практическая реализация предложенных мероприятий выполнена на примере перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова города Красноярска. Исходные данные для моделирования получены с помощью подсистем и модулей интеллектуальной транспортной системы города.

**Ключевые слова:** интеллектуальная транспортная система, организация дорожного движения, перекресток, транспортный поток, моделирование

### Введение

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 21.12.2019 №1762 «Об утверждении Правил предоставления и распределения в 2020 – 2024 годах иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации в целях внедрения 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» разработан проект «Внедрение интеллектуальных транспортных систем» (ИТС), предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» в г. Красноярске, который включает в себя три этапа (2020, 2021, 2022 год) (рис. 1) [1, 2].



Рисунок 1 – Элементы ИТС транспортной отрасли г. Красноярска

Получаемая информация отображается в онлайн-режиме не только на рабочем месте инженера, но и на видеостене, на мобильных устройствах руководителей профильных служб.

В настоящее время в г. Красноярске функционируют следующие технические средства организации дорожного движения [1]:

- 240 детекторов транспорта;
- 506 светофорных объектов, которые переведены в ИТС;
- на 8 светофорных объектах – контроллеры нового поколения «Поток», позволяющие ввести режим адаптивного управления.

Установлено дополнительное серверное оборудование для данного программного обеспечения (ПО). Расширено ПО модуль моделирования VISSIM, позволяющее моделировать режимы работы на 50 светофорных объектах, при этом размер моделируемой улично-дорожной сети 100x100 км.

Сбор статистической информации о параметрах транспортного потока (средняя скорость, количество транспорта – общее и по каждой полосе, плотность транспортного потока)

© Еремин С.В., Новиков А.Н., Фроленкова Л.Ю., Кулев А.В., Кулев М.В., 2023

на участках улично-дорожной сети. В связи с этим ИТС представляет огромный потенциал для совершенствования методов организации дорожного движения [3-20].

**Материал и методы**

Развернутая ИТС города Красноярска позволяет осуществлять сбор информации для совершенствования улично-дорожной сети с помощью моделирования транспортных потоков [8].

Примером практической реализации служит реконструкция перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова на основе выделения значимых факторов, т.е. интенсивностей потоков по различным направлениям (рис. 2).

При этом имело место две фазы регулирования (рис. 3)

**Теория / Расчет**

Для вариации четырьмя входящими потоками, а именно А, В, С и D, был использован двухуровневый дробный факторный план  $2^{4-1}$ . В результате моделирования по данному плану получены: таблица времен прохождения зоны перекрестка по различным направлениям (табл. 1) и таблица количества единиц транспортных средств (ТС) (табл. 2). Эти две таблицы используются для расчета интегрального показателя взвешенных суммарных затрат времени всех ТС на прохождение зоны перекрестка (табл. 3). Она получается в результате обычного умножения количества ТС на время прохождения [1].

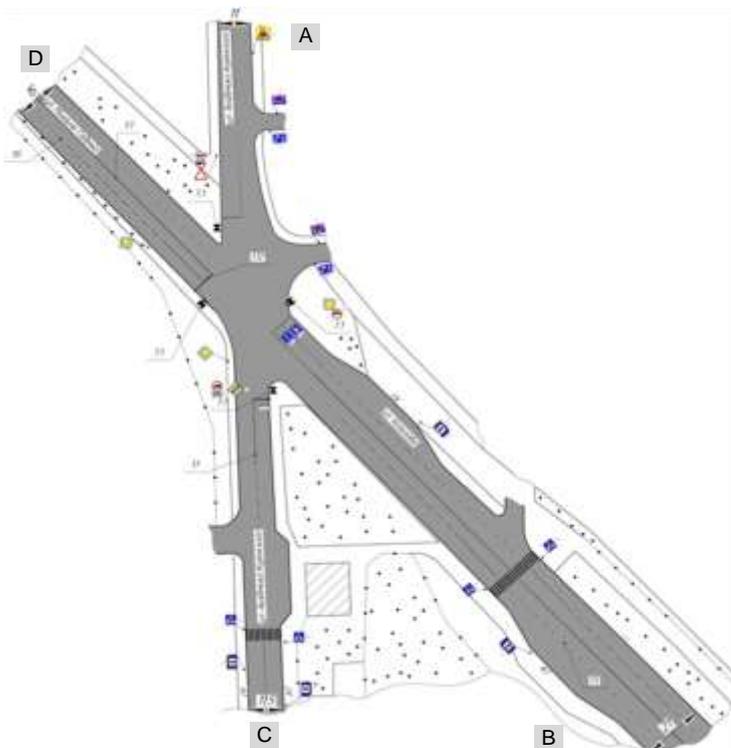


Рисунок 2 - Схема перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова

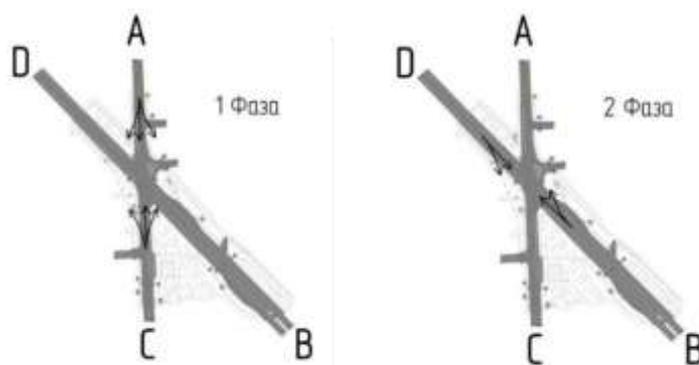


Рисунок 3 - Фазы регулирования перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова

Таблица 1 - Время прохождение участков модели «было», сек

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C
1	1	-1	-1	95,99	95,48	82,86	48,53	49,44	48,16	43,18	83,45	41,66	41,88
1	-1	1	-1	83,1	79,31	66,95	37,37	40	51,44	54,33	150,93	41,89	41,46
-1	-1	1	1	60,71	52,31	37,72	37,36	40,05	50,28	60,65	82,33	56,19	50,12
1	-1	-1	1	96,39	95,88	77,15	37,26	40,1	55,87	46,47	223,2	56,54	52,25
1	1	1	1	99,85	95,1	77,19	51,79	52,21	142,46	109,78	614,41	56,13	53,99
-1	-1	-1	-1	54,48	50,35	37,35	37,59	39,97	49,23	43,81	62,17	41,58	39,47
-1	1	1	-1	57,8	50,51	38,42	47,99	49,46	49,16	54,48	69,42	41,65	39,36
-1	1	-1	1	58,85	54,3	40,51	47,87	49,12	48,44	46,88	65,21	56,9	50,54

Таблица 2 - Количество ТС, прошедших по маршруту в модели «было», ед.

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C
1	1	-1	-1	186	349	166	222	1521	72	12	53	843	199
1	-1	1	-1	182	343	162	115	794	119	23	109	843	199
-1	-1	1	1	86	192	75	115	793	119	23	108	1611	408
1	-1	-1	1	185	352	163	115	794	72	12	46	1610	406
1	1	1	1	181	350	166	222	1521	90	14	62	1623	409
-1	-1	-1	-1	86	192	75	115	794	72	12	53	843	199
-1	1	1	-1	86	192	75	222	1521	119	23	108	843	199
-1	1	-1	1	86	192	75	222	1520	72	12	53	1612	407

Таблица 3 - Суммарные затраты времени на прохождение зоны перекрестка «было»

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C	Все
1	1	-1	-1	17854,14	33322,52	13754,76	10773,66	75198,24	3467,52	518,16	4422,85	35119,38	8334,12	202765,35
1	-1	1	-1	15124,2	27203,33	10845,9	4297,55	31760	6121,36	1249,59	16451,37	35313,27	8250,54	156617,11
-1	-1	1	1	5221,06	10043,52	2829	4296,4	31759,65	5983,32	1394,95	8891,64	90522,09	20448,96	181390,59
1	-1	-1	1	17832,15	33749,76	12575,45	4284,9	31839,4	4022,64	557,64	10267,2	91029,4	21213,5	227372,04
1	1	1	1	18072,85	33285	12813,54	11497,38	79411,41	12821,4	1536,92	38093,42	91098,99	22081,91	320712,82
-1	-1	-1	-1	4685,28	9667,2	2801,25	4322,85	31736,18	3544,56	525,72	3295,01	35051,94	7854,53	103484,52
-1	1	1	-1	4970,8	9697,92	2881,5	10653,78	75228,66	5850,04	1253,04	7497,36	35110,95	7832,64	160976,69
-1	1	-1	1	5061,1	10425,6	3038,25	10627,14	74662,4	3487,68	562,56	3456,13	91722,8	20569,78	223613,44

В результате анализа этого плана показано, что наиболее значимо на суммарные затраты времени влияют потоки D и B (рис. 4).

Карта Парето стандартизованных эффектов; Перемен.: Все  
2\*\*(4-1) план; Остаточн. SS=205017E3

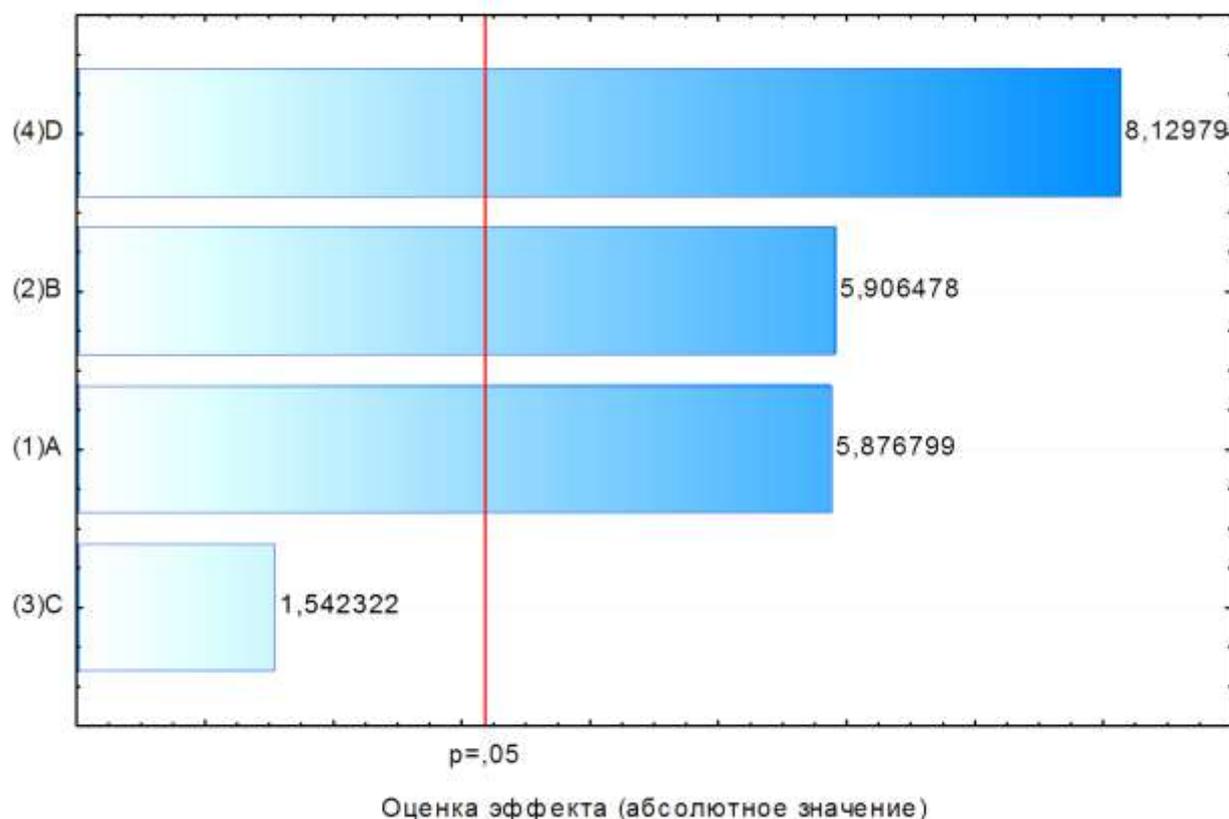


Рисунок 4 - Диаграмма Парето эффектов факторов интенсивности на суммарные затраты времени прохождения зоны перекрестка

В результате оценки эффектов факторов по модели дисперсионного анализа получена таблица 4.

Таблица 4 - Оценки эффектов факторов по модели дисперсионного анализа

Оценки эффектов; R-кв.=,97871;Скор.,95032 (Перекресток) 2**(4-1) план; Остаточн.SS=205017E3 ЗП Все										
Фактор	Эффект	Ст.Ош.	t(3)	p	-95, %		Козф.	Ст.Ош. Козф.	+95, %	
					Дов.Пред	Дов.Пред			Дов.Пред	Дов.Пред
Сред/Св.член	197116,6	5062,32	38,93796	0,000037	181006,0	213227,1	197116,6	5062,324	181006,0	213227,1
(1)A	59500,5	10124,65	5,87680	0,009830	27279,4	91721,7	29750,3	5062,324	13639,7	45860,8
(2)B	59801,0	10124,65	5,90648	0,009691	27579,9	92022,2	29900,5	5062,324	13789,9	46011,1
(3)C	15615,5	10124,65	1,54232	0,220667	-16605,7	47836,6	7807,7	5062,324	-8302,8	23918,3
(4)D	82311,3	10124,65	8,12979	0,003891	50090,2	114532,5	41155,7	5062,324	25045,1	57266,2

Из последней таблицы также видно, что факторы В и D наиболее значимы, а фактор С вообще при данной схеме моделирования представляется статистически незначимым.

Показано также, что прогноз суммарных затрат по линейной модели дает достаточно адекватный результат. График предсказанных значений суммарных затрат относительно наблюдаемых представлен на рисунке 5.

Для влияния интенсивностей В и D построена линейная регрессионная модель при средних значениях факторов А и С (рис. 6). Как видно из графика, линейная регрессия также представляется достаточно адекватной.

Кроме того, на суммарные затраты времени по направлениям D–В и D–С существенное влияние оказывает только интенсивность потока D (рис. 7).

Аналогично, для суммарных затрат по направлениям В–А и В–D существенное влияние оказывает только поток В.

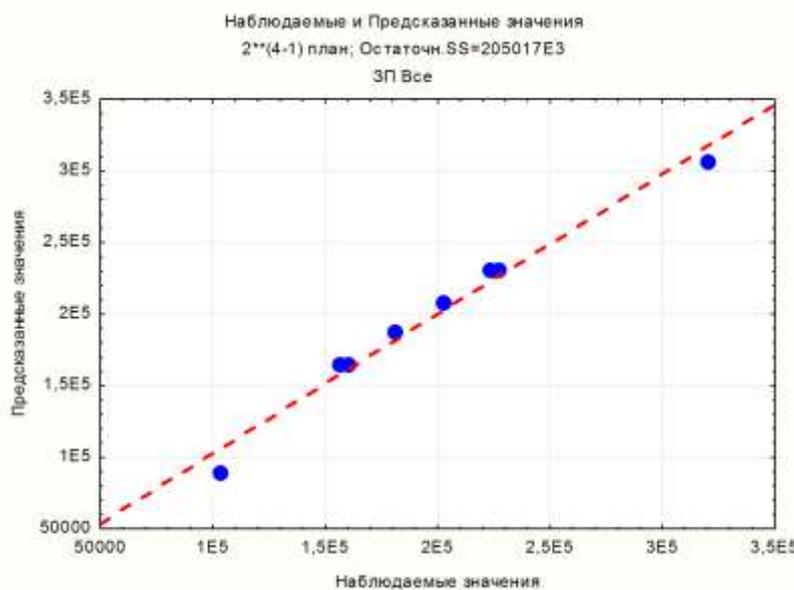


Рисунок 5 - График предсказанных значений суммарных затрат времени относительно наблюдаемых суммарных затрат времени

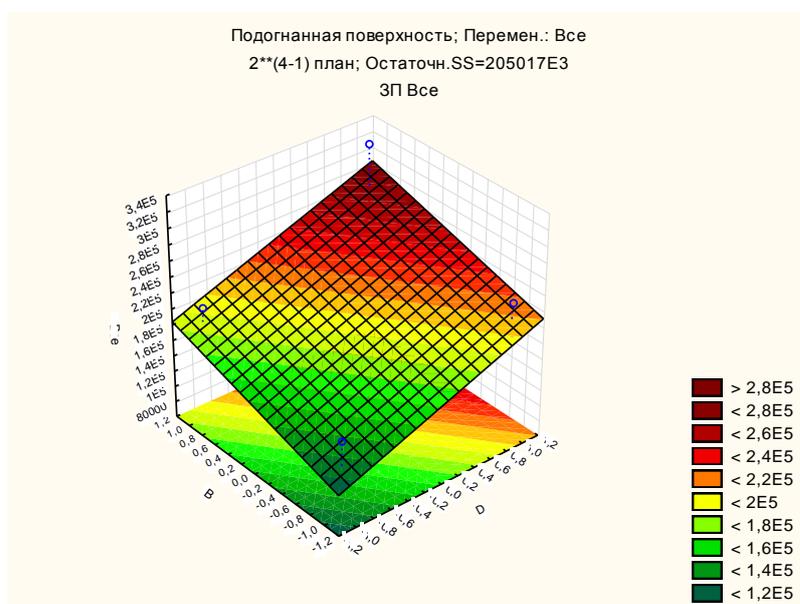
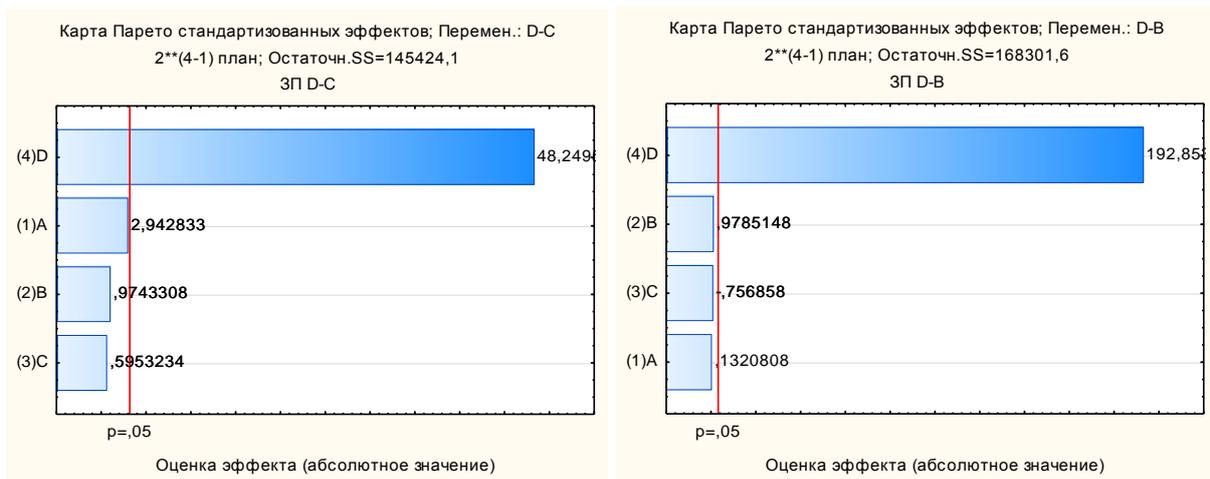


Рисунок 6 - Линейная регрессионная модель влияния интенсивностей потоков В и D

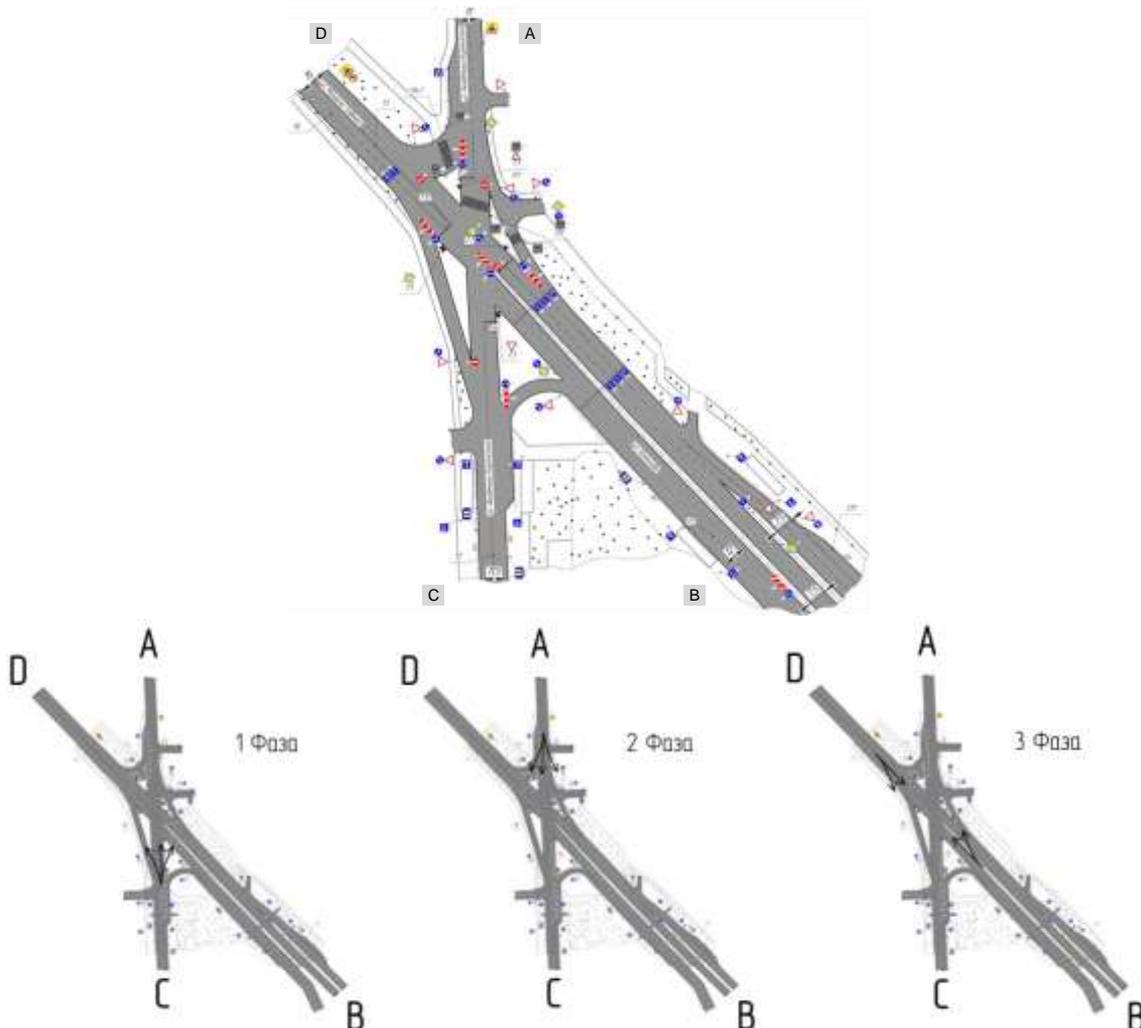


**Рисунок 7 - Диаграмма Парето эффектов факторов для направлений D-B и D-C**

**Результаты и обсуждение**

В результате проведенного анализа предложена реконструкция перекрестка, которая предполагает дополнительные съезды.

Предложенная схема приведена на рисунке 8, причем, с тремя фазами регулирования [1].



**Рисунок 8 - Схема реконструкции перекрестка улиц**

В результате моделирования по тем же двухуровневым дробным факторным планам получены новые значения времен прохождения зоны перекрестка (табл. 5), количества ТС (табл. 6) и суммарных затрат времени всех ТС на прохождение зоны перекрестка (табл.7) [1].

Таблица 5 - Время прохождение участков модели «стало», сек.

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C
1	1	-1	-1	113,22	113,4	69,82	51,5	62,76	72	29,64	69,01	49,41	42,99
1	-1	1	-1	111,82	116,77	65,75	30,31	49,22	97,96	39,76	100,4	49,5	43,55
-1	-1	1	1	70,33	74,04	24,34	30,67	48,9	115,21	36,39	112,5	66,46	59,39
1	-1	-1	1	112,05	118,05	66,28	28,56	49,2	73,49	28,55	71,42	69,72	61,88
1	1	1	1	117,97	117,53	77,08	46,3	56,83	105,97	38,64	111,69	69,9	61,94
-1	-1	-1	-1	69,44	73,72	24,34	28,44	48,9	71,87	28,87	68,82	48,89	42,44
-1	1	1	-1	70,92	74,04	25,03	61,81	67,5	95,96	39,29	96,07	48,95	42,44
-1	1	-1	1	69,02	73,82	24,97	41,74	56,27	72,92	28,56	68,43	62,86	54,47

Таблица 6 - Количество ТС, прошедших по маршруту в модели «стало», ед.

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C
1	1	-1	-1	275	265	28	818	1509	172	5	116	911	135
1	-1	1	-1	275	267	28	407	778	317	9	254	911	135
-1	-1	1	1	147	141	12	407	778	315	9	253	1714	238
1	-1	-1	1	275	264	28	407	778	172	5	116	1727	241
1	1	1	1	275	265	28	840	1554	316	9	250	1708	235
-1	-1	-1	-1	147	141	12	407	778	171	5	116	911	135
-1	1	1	-1	147	141	12	812	1502	318	9	253	911	135
-1	1	-1	1	147	141	12	840	1556	171	5	116	1729	243

Таблица 7 - Суммарные затраты времени на прохождение зоны перекрестка «стало», сек.

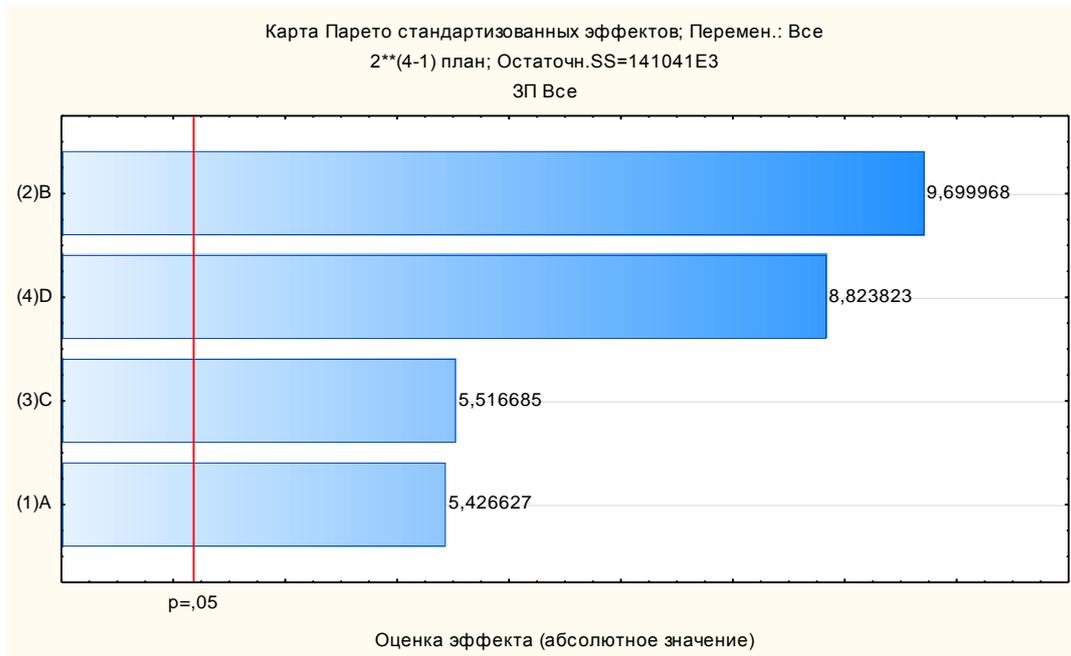
A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C	Все
1	1	-1	-1	31135,5	30051	1954,96	42127	94704,84	12384	148,2	8005,16	45012,51	5803,65	271326,8
1	-1	1	-1	30750,5	31177,59	1841	12336,17	38293,16	31053,32	357,84	25501,6	45094,5	5879,25	222284,9
-1	-1	1	1	10338,51	10439,64	292,08	12482,69	38044,2	36291,15	327,51	28462,5	113912,44	14134,82	264725,5
1	-1	-1	1	30813,75	31165,2	1855,84	11623,92	38277,6	12640,28	142,75	8284,72	120406,44	14913,08	270123,6
1	1	1	1	32441,75	31145,45	2158,24	38892	88313,82	33486,52	347,76	27922,5	119389,2	14555,9	388653,1
-1	-1	-1	-1	10207,68	10394,52	292,08	11575,08	38044,2	12289,77	144,35	7983,12	44538,79	5729,4	141199
-1	1	1	-1	10425,24	10439,64	300,36	50189,72	101385	30515,28	353,61	24305,71	44593,45	5729,4	278237,4
-1	1	-1	1	10145,94	10408,62	299,64	35061,6	87556,12	12469,32	142,8	7937,88	108684,94	13236,21	285943,1

В отличие от существующей схемы, для предложенной реконструкции влияние потоков на суммарные затраты времени прохождения зоны перекрестка стало более равномерным (рис. 9). Поток С стал статистически значим. Потоки D и В остались наиболее значимы.

В результате оценки эффектов факторов по модели дисперсионного анализа получена таблица 8.

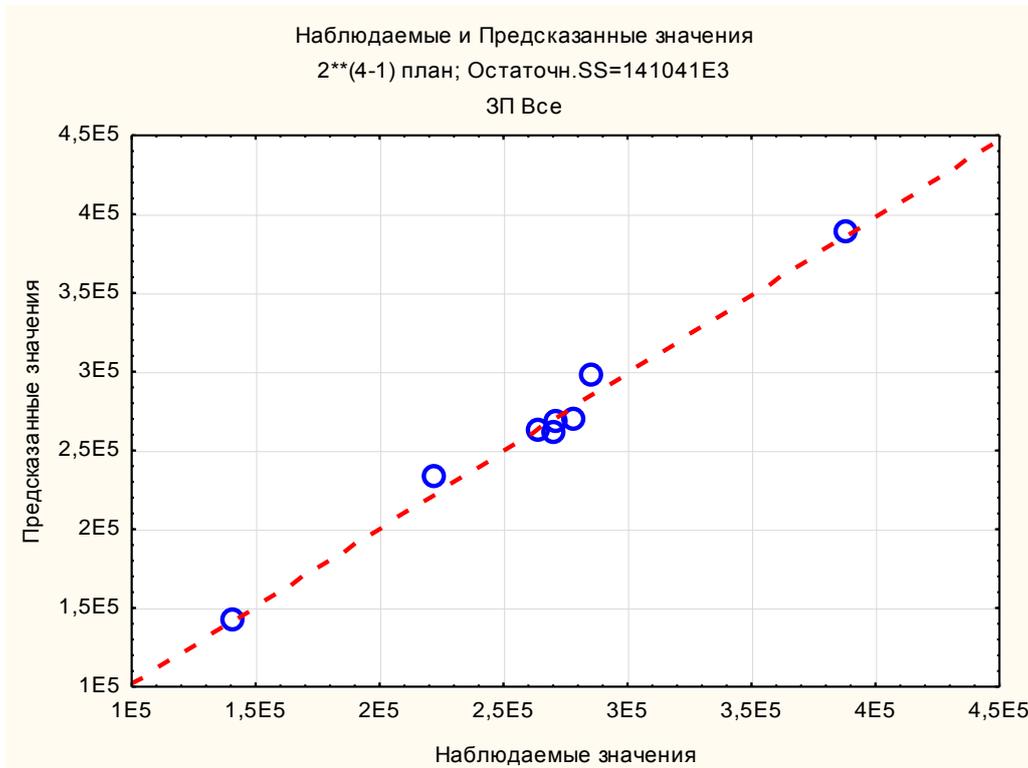
Таблица 8 - Оценки эффектов факторов по модели дисперсионного анализа

Фактор	Оценки эффектов; R-кв.=,98722; Скор.,97019 (Перекресток) 2**(4-1) план; Остаточн.SS=141041E3 ЗП Все											
	Эффект	Ст.Ош.	t(3)	p	-95, Дов.Пред	+95, Дов.Пред	Козф.	Ст.Ош. Козф.	-95, Дов.Пред	+95, Дов.Пред		
Сред/Св.член	265311,7	4198,821	63,18719	0,000009	251949,2	278674,2	265311,7	4198,821	251949,2	278674,2		
(1)A	45570,9	8397,641	5,42663	0,012280	18845,8	72295,9	22785,4	4198,821	9422,9	36148,0		
(2)B	81456,8	8397,641	9,69997	0,002327	54731,8	108181,9	40728,4	4198,821	27365,9	54090,9		
(3)C	46327,1	8397,641	5,51668	0,011730	19602,1	73052,2	23163,6	4198,821	9801,0	36526,1		
(4)D	74099,3	8397,641	8,82382	0,003067	47374,3	100824,3	37049,6	4198,821	23687,1	50412,2		



**Рисунок 9 - Диаграмма Парето эффектов факторов интенсивности на суммарные затраты времени прохождения зоны перекрестка**

Линейная модель прогноза также дает адекватные результаты (рис. 10).



**Рисунок 10 - График предсказанных значений суммарных затрат относительно наблюдаемых**

**Выводы**

Проведем анализ эффективности принятого решения по реконструкции перекрестка по модельным данным.

Так, если сравнивать общее количество ТС, прошедших зону перекрестка за время моделирования, то для всех комбинаций интенсивностей потоков результаты моделирования показывают превосходство реконструированной схемы перекрестка (табл. 9, рис. 11) [1].

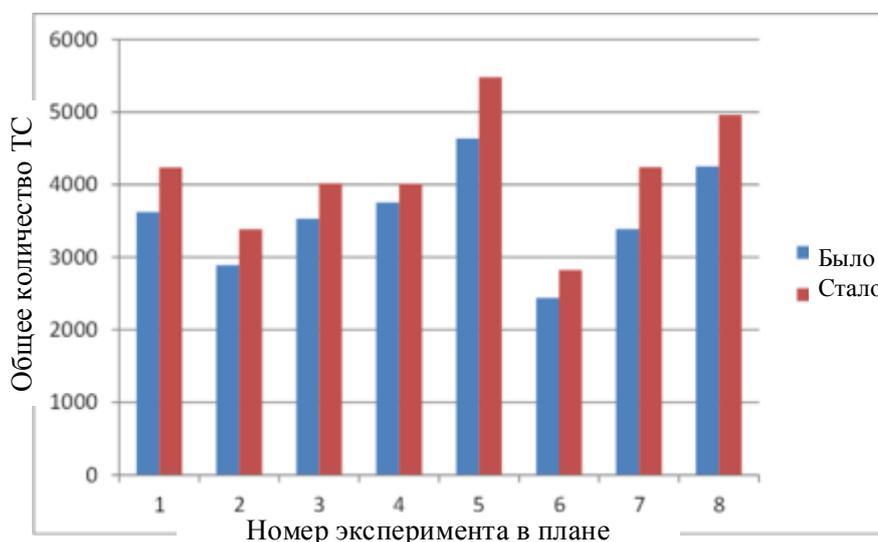


Рисунок 11 - Сравнительный анализ количества ТС

Таблица 9 - Сравнительный анализ количества ТС

№	Было – ряд 1	Стало – ряд 2
1	3623	4234
2	2889	3381
3	3530	4014
4	3755	4013
5	4638	5480
6	2441	2823
7	3388	4240
8	4251	4960

Таблица 10 - Суммарное время прохождения зоны перекрестка

№	Было – ряд 1	Стало – ряд 2
1	630,63	673,75
2	646,78	705,04
3	527,72	638,23
4	781,11	679,20
5	1352,91	803,85
6	456,00	505,73
7	498,25	622,01
8	518,62	553,06

Относительно времени прохождения зоны перекрестка результаты моделирования дали несколько иной результат (табл. 10, рис. 12) [1]. Суммарное взвешенное время для исходной схемы в большей части комбинаций интенсивности дало лучший результат, но не на много. Для комбинации 5, в которой все потоки были максимальными, время прохождения для реконструированной схемы существенно лучше.

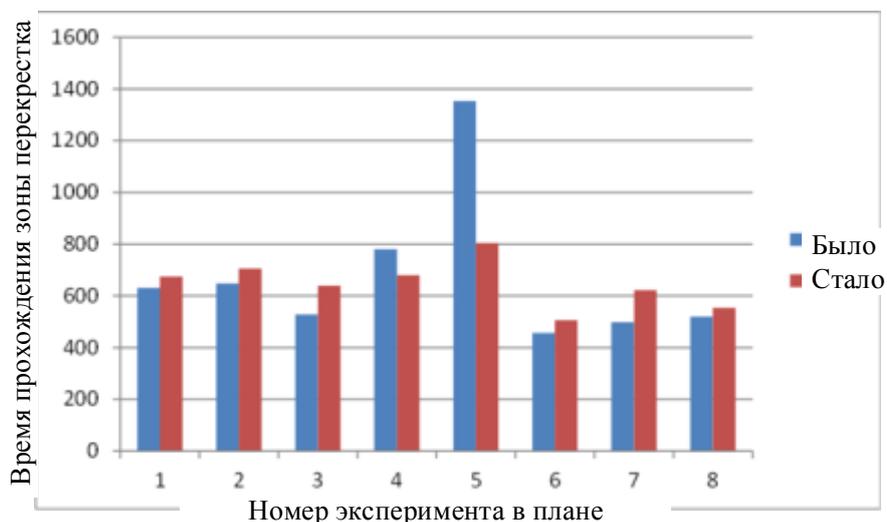


Рисунок 12 - Сравнительный анализ времени прохождения зоны перекрестка

Таблица 11 - Прирост времени прохождения зоны перекрестка и количества ТС, (в %)

№	Прирост времени	Прирост количества ТС
1	7	17
2	9	17
3	21	14
4	-13	7
5	-41	18
6	11	16
7	25	25
8	7	17

Это значительное улучшение времени даже компенсирует все ухудшения для остальных комбинаций (по средневзвешенной сумме времени прохождения зоны перекрестка).

Более нагляден характер улучшения пропускной способности перекрестка на относительных значениях приращения времени прохождения зоны перекрестка и количества ТС (табл. 11).

Как видно из графика, процентный рост времени заметно меньше, чем процентный рост количества ТС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремин С.В. Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города: Автореф. дис. ... д-а техн. наук: 2.9.4. / Еремин Сергей Васильевич; ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева». - Орел, 2022. - 44 с.
2. Официальный сайт администрации города Красноярска [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.admkrsk.ru>.
3. Булатова О.Ю. Концепция реализации технологии V2X для повышения эффективности дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №1(76). – С. 48-53. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-76-1-48-53.
4. Цзянг Х. Исследование свойства передвижения транспортных средств при динамическом управлении транспортными потоками в двухзональной системе // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №2(77). – С. 36-45. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-36-45.
5. Басков В.Н., Исаева Е.И. Оценка уровня интеллектуализации дорожно- транспортной системы // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №2(77). – С. 76-84. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-76-84.
6. Тихомиров П.В., Сиваков В.В., Камынин В.В., Сеницын С.С. Применение искусственных нейронных сетей в задачах прогнозирования транспортных процессов // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №2(77). – С. 116-124. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-116-124.
7. Власов А.А. Концепция цифрового двойника как основа создания интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3-2(78). – С. 56-62. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-56-62.
8. Новиков А.Н., Еремин С.В. Интеллектуальная транспортная система города Красноярска // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). - 2019. – С. 493-496.
9. Вучик В. Транспорт в городах, удобных для жизни: Монография. – Москва: ИД Территория будущего, 2011. – 576 с.
10. Головин О.К. Методы и средства управления транспортными процессами на основе атрибутно-ориентированных моделей: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Головин Олег Константинович. – Самара, 2016. – 235 с.
11. Жанказиев С.В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно дорожных комплексах городов и регионов: Дис. ... д-ра техн. наук / Жанказиев Султан Владимирович. - Москва, 2012. - 451 с.
12. Белов Ю.В., Полетайкин А.Н. Совершенствование системы управления транспортом на основе концепции интеллектуальной транспортной системы // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2015. – №2. – С. 4-9.
13. Сильянов В.В., Капитанов В.Т., Моница О.Ю., Чубуков А.Б. Интеллектуальные транспортные системы: история, состояние и пути развития / Под редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 4ой Международной научно практической конференции. - Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. - 2019. - С. 138-145.
14. Гребенкина С.А., Гребенкина И.А., Благодир А.Л. Интеллектуальные транспортные системы как фактор социально-экономического развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2020. – №2. – С. 317-329. – DOI 10.15593/2224-9354/2020.2.23.

15. Капский Д.В. Основы автоматизации интеллектуальных транспортных систем: Учебник. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. - 412 с.
16. Белешев Д.А. Проблемы развития российских интеллектуальных транспортных систем // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – №2(79). – С. 152-160. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-152-160.
17. Комаров В.В., Гараган С.А. Интеллектуальные задачи телематических транспортных систем и интеллектуальная транспортная система // Т-Сотм: Телекоммуникации и транспорт. - 2012. - Т. 6. - №4. - С. 34-38.
18. Петров Г.В., Таран И.С. Архитектура интеллектуальной системы управления транспортными потоками // Научно-практические исследования. – 2020. – №12-5(35). – С. 32-37.
19. Кочерга В.Г. Основы функционирования интеллектуальных транспортных систем в организации движения и перевозок: дис. ... д-ра. техн. наук / Кочерга Виктор Григорьевич. - Москва, 2001. - 345 с.
20. Воробьев А.И., Морданов И.С. Исследовательский комплекс моделирования интеллектуальных транспортных систем // Автотранспортное предприятие. – 2013. – №12. – С. 40-41.

**Еремин Сергей Васильевич**

Администрация Красноярского края  
Адрес: 660009, Россия, г. Красноярск, пр. Мира, 110  
Д.т.н., Заместитель Губернатора Красноярского края  
E-mail: str.madi@mail.ru

**Новиков Александр Николаевич**

Орловский государственный университет  
имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77  
Д.т.н., профессор, зав. кафедрой сервиса и ремонта машин  
E-mail: srmostu@mail.ru

**Фроленкова Лариса Юрьевна**

Орловский государственный университет  
имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 34  
Д.т.н., доцент, зав. кафедрой машиностроения  
E-mail: larafrolenkova@yandex.ru

**Кулев Андрей Владимирович**

Орловский государственный университет  
имени И.С.Тургенева  
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77  
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин  
E-mail: andrew.ka@mail.ru

**Кулев Максим Владимирович**

Орловский государственный университет  
имени И.С.Тургенева  
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77  
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин  
E-mail: maxim.ka@mail.ru

---

S.V. EREMIN, A.N. NOVIKOV, L.YU. FROLENKOVA, A.V. KULEV, M.V. KULEV

## IMPROVEMENT OF TRAFFIC IN THE CITY OF KRASNOYARSK ON THE BASIS OF INTELLIGENT TRANSPORT TECHNOLOGIES

***Abstract.** The paper discusses the issues of improving the efficiency of traffic management based on intelligent transport technologies. The proposed methodology is based on the developed factor model of maximizing the capacity of a section of the road network, which allows to establish the relationship between the values of traffic flow intensities in different directions. The practical implementation of the proposed measures is carried out on the example of the intersection of Academician Kirensky and Kopylov streets in the city of Krasnoyarsk. The initial data for modeling were obtained using subsystems and modules of the intelligent transport system of the city.*

***Keywords:** intelligent transport system, traffic management, intersection, traffic flow, modeling*

### BIBLIOGRAPHY

1. Eremin S.V. Metodologiya organizatsii perevozok passazhirov gorodskim obshchestvennym transportom v usloviyakh perspektivnogo territorial'nogo razvitiya goroda: Avtoref. dis. ... d-a tekhn. nauk: 2.9.4. / Ere-min Sergey Vasil'evich; FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva». - Orel, 2022. - 44 s.
2. Ofitsial'nyy sayt administratsii goroda Krasnoyarska [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.admkrsk.ru>.
3. Bulatova O.Yu. Kontseptsiya realizatsii tekhnologii V2X dlya povysheniya effektivnosti dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №1(76). - S. 48-53. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-76-1-48-53.
4. TSzyang H. Issledovanie svoystva peredvizheniya transportnykh sredstv pri dinamicheskom upravlenii transportnymi potokami v dvukhzonal'noy sisteme // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №2(77). - S. 36-45. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-36-45.

5. Baskov V.N., Isaeva E.I. Otsenka urovnya intellektualizatsii dorozhno-transportnoy sistemy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №2(77). - S. 76-84. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-76-84.
6. Tikhomirov P.V., Sivakov V.V., Kamynin V.V., Sinitsyn S.S. Primenenie iskusstvennykh neyronnykh setey v zadachakh prognozirovaniya transportnykh protsessov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №2(77). - S. 116-124. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-116-124.
7. Vlasov A.A. Kontseptsiya tsifrovogo dvoynika kak osnova sozdaniya intellektual`nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-2(78). - S. 56-62. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-56-62.
8. Novikov A.N., Eremin S.V. Intellektual`naya transportnaya sistema goroda Krasnoyarska // Arkhitekturno-stroitel`nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii: Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil`no-dorozhnyy universitet (SibADI). - 2019. - S. 493-496.
9. Vuchik V. Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni: Monografiya. - Moskva: ID Territoriya budushchego, 2011. - 576 s.
10. Golovnin O.K. Metody i sredstva upravleniya transportnymi protsessami na osnove atributno-orientirovannykh modeley: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.01 / Golovnin Oleg Konstantinovich. - Samara, 2016. - 235 s.
11. Zhankaziev S.V. Nauchnye osnovy i metodologiya formirovaniya intellektual`nykh transportnykh sistem v avtomobil`no dorozhnykh kompleksakh gorodov i regionov: Dis. ... d-ra tekhn. nauk / Zhankaziev Sultan Vladimirovich. - Moskva, 2012. - 451 s.
12. Belov Yu.V., Poletaykin A.N. Sovershenstvovanie sistemy upravleniya transportom na osnove kon-tseptsii intellektual`noy transportnoy sistemy // Vestnik Donetskoy akademii avtomobil`nogo transporta. - 2015. - №2. - S. 4-9.
13. Sil`yanov V.V., Kapitanov V.T., Monina O.Yu., Chubukov A.B. Intellektual`nye transportnye sistemy: istoriya, sostoyanie i puti razvitiya / Pod redaktsiyey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 4oy Mezhdunarodnoy nauchno prakticheskoy konferentsii. - Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgenova. - 2019. - S. 138-145.
14. Grebenkina S.A., Grebenkina I.A., Blagodir A.L. Intellektual`nye transportnye sistemy kak faktor sotsial`no-ekonomicheskogo razvitiya // Vestnik Permskogo natsional`nogo issledovatel`skogo politekhnicheskogo universiteta. Sotsial`no-ekonomicheskie nauki. - 2020. - №2. - S. 317-329. - DOI 10.15593/2224-9354/2020.2.23.
15. Kapskiy D.V. Osnovy avtomatizatsii intellektual`nykh transportnykh sistem: Uchebnik. - Vologda: Infra-Inzheneriya, 2022. - 412 s.
16. Beleshev D.A. Problemy razvitiya rossiyskikh intellektual`nykh transportnykh sistem // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2020. - №2(79). - S. 152-160. - DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-152-160.
17. Komarov V.V., Garagan S.A. Intellektual`nye zadachi telematicheskikh transportnykh sistem i intellektual`naya transportnaya sistema // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. - 2012. - T. 6. - №4. - S. 34-38.
18. Petrov G.V., Taran I.S. Arkhitektura intellektual`noy sistemy upravleniya transportnymi potokami // Nauchno-prakticheskie issledovaniya. - 2020. - №12-5(35). - S. 32-37.
19. Kocherga V.G. Osnovy funktsionirovaniya intellektual`nykh transportnykh sistem v organizatsii dvizheniya i perevozok: dis. ... d-ra. tekhn. nauk / Kocherga Viktor Grigor`evich. - Moskva, 2001. - 345 s.
20. Vorob`ev A.I., Mordanov I.S. Issledovatel`skiy kompleks modelirovaniya intellektual`nykh transportnykh sistem // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2013. - №12. - S. 40-41.

**Eremin Sergey Vasilyevich**

Krasnoyarsk kray Administration  
Address: 660009, Russia, Krasnoyarsk, Mira ave., 110  
Doctor of technical sciences  
E-mail: str.madi@mail.ru

**Novikov Alexander Nikolaevich**

Orel State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77  
Doctor of technical sciences  
E-mail: srmostu@mail.ru

**Frolenkova Larisa Yurevna**

Orel State University  
Address: 302030, Russia, Orel, Moscovskaya str., 34  
Doctor of technical sciences  
E-mail: larafrolenkova@yandex.ru

**Kulev Andrei Vladimirovich**

Orel State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77  
Candidate of technical sciences  
E-mail: srmostu@mail.ru

**Kulev Maksim Vladimirovich**

Orel State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77  
Candidate of technical sciences  
E-mail: srmostu@mail.ru

Д.Г. НЕВОЛИН, А.А. ЦАРИКОВ

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТАКТОВ И ЦИКЛОВ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С УЧЕТОМ ОРГАНИЗАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ ПОЛОС ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** В статье рассмотрены проблемные вопросы расчета тактов и циклов светофорного регулирования, в части отдельных полос, выделенных для движения городского пассажирского транспорта. Предложена методика исследования интенсивности движения пассажирского транспорта и коэффициенты приведения их к легковому транспорту. Разработаны предложения по совершенствованию существующей методики расчета тактов и циклов светофорного регулирования, за счет использования фазовых коэффициентов для отдельных полос, предназначенных для движения пассажирского транспорта.

**Ключевые слова:** организация дорожного движения, светофорное регулирование, городской пассажирский транспорт, полосы для движения пассажирского транспорта

### Введение

Темпы роста уровня автомобилизации в последние несколько десятилетий в крупных и крупнейших городах России превышают темпы развития улично-дорожной сети. Столь высокие темпы автомобилизации, наряду с положительными тенденциями привели к появлению множеству проблем в организации дорожного движения. К ним необходимо отнести рост протяженности заторов, снижение скорости сообщения транспорта [1, 2], а также увеличение количества дорожно-транспортных происшествий [3, 4].

Для решения вышеуказанных проблем, как указывают большинство специалистов и ученых в области транспортных систем, необходимо создание приоритетных условий для движения общественного транспорта [5-8]. В этой связи организация выделенных и обособленных полос предназначенных для движения пассажирского транспорта общего пользования является наиболее эффективным мероприятием.

Однако, как показала практика организации дорожного движения, современная нормативная документация не в полной мере отражает потребности инженеров в методах и методиках расчета. На данный момент практически нет информации о методике расчета тактов и циклов светофорного регулирования для транспортных узлов, на которых выделены отдельные полосы для общественного транспорта.

### Материал и методы

На сегодняшний день, для расчета объектов светофорного регулирования используется ОДМ 218.6.003-2011 [9], в котором в качестве расчетной принята формула Вебстера для расчета циклов [10].

$$T = \frac{1,5 * T_{\Sigma} + 5}{1 - (y_1 + y_2 + \dots + y_n)}, \quad (1)$$

где  $T$  - длительность цикла светофорного регулирования, с;

$T_{\Sigma}$  - сумма всех промежуточных тактов, с;

$y_1, y_2, y_n$  - соответствующие фазовые коэффициенты для фаз 1, 2, ... n.

Как видно из формулы (1), для определения длительности цикла светофорного регулирования необходим предварительный расчет фазовых коэффициентов для отдельных наиболее загруженных направлений.

$$y_{ij} = N_{ij} / M_{Hij}, \quad (2)$$

где  $y_{ij}$  - фазовый коэффициент данного направления;

$N_{ij}$  - интенсивность движения рассматриваемого направления движения, ед./ч;

$M_{Hij}$  - поток насыщения для рассматриваемого направления движения, ед./ч.

Необходимо отметить, что формулы (1) и (2) были разработаны ученым из Великобритании Ф.В. Вебстером в 1958 году для расчета оптимальной длительности тактов и циклов светофорного регулирования с точки зрения минимизации задержек транспорта перед перекрестком. Формула получила широкое распространение, в первую очередь в англоязыч-

ных странах и используется до сих пор в современных руководствах по расчету циклов светофорного регулирования США [11], Канады [12] и Германии [13].

В 70-е годы XX столетия, данные формулы были адаптированы для расчета светофорных объектов на улично-дорожной сети городов Советского союза [14] и используются до сих пор. Отличительной чертой Российской методики расчета светофорного цикла, от методов принятых в развитых странах, можно считать использование несколько иных коэффициентов для расчета потока насыщения  $M_H$ , а также значения самого потока насыщения для идеальных условий. Однако не Российское, не зарубежные руководства, не дают точного описания методики расчета циклов и тактов светофорного регулирования, для перекрестков, где организованы отдельные полосы для движения общественного транспорта.

Стоит отметить, что последние 90 лет, пассажирский транспорт общего пользования играет важную роль в жизни всех городов постсоветского пространства. Первые полосы для движения общественного транспорта в городах Советского союза, выделялись для трамвайных поездов. Советские специалисты еще в конце 50-х годов XX столетия отмечали, что на перекрестках где располагается узел рельсовых путей, а трамваи совершают повороты, пропускная способность движения узла значительно снижается.

Для решения данной проблемы, советские специалисты предлагали удлинение желтых сигналов светофоров или выделение отдельных фаз для движения трамваев. Для расчета длительности такта светофорного регулирования, для пропуска трамвайных поездов Поляков А.А. предложил следующую формулу [15]:

$$c' = t'_0 + \frac{L+l}{v_c} - t_0, \quad (3)$$

где  $c'$  - длительность такта для пропуска трамвайного движения, с;

$t'_0$  - длительность реакции водителя трамвая после включения разрешающего сигнала светофора (для двухвагонных поездов принимается 3 секунды, для одиночных вагонов - 2 секунды), с;

$t_0$  - время реакции водителя и период приведения в движение первого автомобиля в очереди, с;

$L$  - длина соединительной кривой в пределах перекрестка, м;

$l$  - длина трамвайного поезда, м;

$v_c$  - средняя скорость прохождения трамвайного поезда по соединительной кривой (принимается 3-4 м/с), м/с.

Из формулы (3) видно, что в основе расчета Полякова А.А. было принято время, необходимое для пропуска трамвайного поезда через перекресток. Однако формула значительно усложнялась, если через перекресток необходимо было пропускать трамвайные поезда с нескольких направлений, которые пересекаются между собой.

Отдельно стоит отметить, что до появления формулы Вебстера, в Советском союзе, для расчета циклов регулирования использовались формулы Владимирова [16] и Полякова [17]. Смысл данных формул достаточно логичен, а сами расчеты довольно просты. Однако в современных условиях, данные формулы недостаточно точны и применимы в ограниченных случаях.

С появлением новой методики расчета тактов и циклов регулирования, основанных на формуле Вебстера, в практике организации движения начали использовать другие формулы для расчета длительности размещающего сигнала [9,12,19]:

$$t_T = \frac{3,6(S_T + l_T)}{V_T} ; \quad (4)$$

$$t_T = \frac{3,6(S_T + 2l_T + \Delta l)}{V_T} , \quad (5)$$

где  $t_T$  - время разрешающего такта необходимого для пропуска трамвайного поезда, сек.

$S_T$  - путь движения трамвая от стоп-линии до самой дальней конфликтной точки с транспортными средствами или пешеходами, начинающими движение в следующей фазе, в м;

$l_T$  - длина трамвайного поезда, в м;

$\Delta l$  - дистанция между поездами (не менее 60 м при 20 км/ч);

$V_T$  - скорость движения трамвая в пределах пересечения в км/ч.

При этом видно, что формула (4) использовалась для пропуска одного поезда за один цикл, а формула (5) для пропуска двух поездов за цикл.

Важно отметить, что формулы (4) и (5), в отличие от формулы (2) не учитывает интенсивность движения подвижного состава в течение часа. Практически данные формулы разработаны для того, что в течение цикла через перекресток гарантированно пропускать один или два трамвайных поезда. Однако такие формулы не применимы для выделенных полос предназначенных для движения пневмоколесных видов пассажирского транспорта, а также для полос смешанного движения, где одновременно с трамваем организовано движение автобуса и троллейбуса.

**Теория / Расчет**

Нужно подчеркнуть, что чем более точно рассчитаны значения длительности тактов и циклов светофорного регулирования, тем меньше время автомобили будут ожидать разрешающего сигнала светофора. Как видно из рисунка 1, расчет оптимальной длительности цикла напрямую влияет на среднюю задержку автомобиля. Иными словами, ошибка в ту и другую сторону, при расчете длительности тактов и циклов регулирования, увеличивают среднюю задержку автомобиля. Наличие отдельных полос для движения общественного транспорта, в значительной мере меняет условия движения на перекрестке. Однако при расчете светофорного объекта, инженерами по организации движения данный фактор не учитывается.

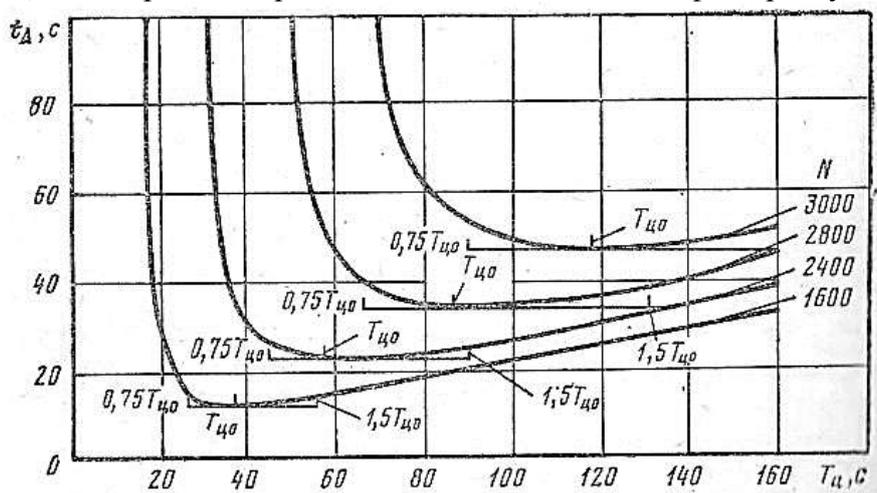


Рисунок 1 – Зависимость средней задержки автомобиля у перекрестка от длительности цикла регулирования [18, 19]

Учитывая вышеуказанные проблемы, основываясь на практическом опыте, авторы статьи предложили ряд уточнений в существующую методику расчета тактов и циклов светофорного регулирования.

Исследование интенсивности движения. Расчет любого перекрестка со светофорным регулированием необходимо начинать с исследования интенсивности движения. При этом

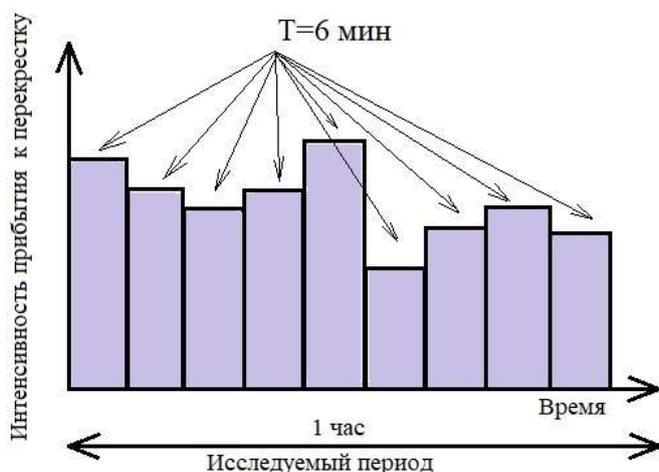


Рисунок 2 – Исследование интенсивности движения пассажирского транспорта по 6-ти минутным интервалам

рассчет интенсивности движения для основных направлений движения, по которым движется автомобильный транспорт общего пользования можно осуществлять по стандартным методикам описанных в работах [9, 19-21].

Однако для исследования интенсивности движения пассажирского транспорта необходимо использовать несколько иные методы. Следует подчеркнуть, что интенсивность движения пассажирского транспорта в большинстве случаев находится в пределах от 20 до 80 единиц в час. При этом прибытие подвижного состава к перекрестку характеризуется значительной внутрисуточной неравномерностью. Иными словами, в течение одного светофорного цикла к стоп-линии может не прибыть ни одного автобуса, а в некоторые циклы их число будет составлять 5 и более единиц.

Учитывая выше сказанное, исследование интенсивности движения пассажирского транспорта должно протекать в течение часа, с разделением объема прибывающего подвижного состава на 6-ти минутные интервалы (рис. 2).

Часовую интенсивность движения приводят к максимальной пиковой интенсивности, которая может быть достигнута лишь в течение 6-минутного периода. В результате конечное значение интенсивности, используемое в расчетах, будет завышено, что приведет к некоторому увеличению длительности разрешающего такта. Однако это позволяет учесть максимальный скачок интенсивности в течении часа пик и значительно снизить задержки пассажирского транспорта.

При проведении натурных исследований интенсивности движения крайне важно фиксировать тип подвижного состава, проезжающий через перекресток. Данное замечание распространяется и на пассажирский транспорт. В противном случае крайне сложно перевести интенсивность движения автобусов к легковым автомобилям.

Расчет приведенной интенсивности движения. Для расчета приведенной интенсивности движения предлагается использовать следующую формулу:

$$N_{\text{прив}i} = \sum N_j K_{j\text{пр}}, \quad (6)$$

где  $N_{\text{прив}i}$  - приведенная интенсивность транспортного потока, ед./ч;

$N_j$  – интенсивность движения j-го вида пассажирского транспорта, экип./ч;

$K_{j\text{пр}}$  – коэффициент приведения j-го вида пассажирского транспорта к легковому автомобилю (коэффициенты приведения необходимо брать из таблицы 1).

Таблица 1 – Коэффициенты приведения к транспортному потоку для различных видов подвижного состава пассажирского транспорта

Наименование подвижного состава	Коэффициент приведения к легковому автомобилю, единиц
Автобус малого класса	1,5
Автобус среднего класса	2
Автобус большого класса	2,5
Троллейбус большого класса	3
Автобус особо большого класса	4
Троллейбус особо большого класса	4
Трамвай одиночный	4
Трамвайный поезд из двух вагонов	8
Трамвайный поезд из трех вагонов	12
Сочлененные трамвайные вагоны длиной до 30 метров	8
Сочлененные трамвайные вагоны длиной более 30 метров	12

Полученные в результате исследования и последующего расчета данные о 6-ти минутной интенсивности движения в течении часа пик необходимо сравнить и выбрать наиболее интенсивный интервал. Данный интервал и станет основой для расчета приведенной часовой интенсивности движения пассажирского транспорта с учетом внутричасовой неравномерности.

$$N_{\text{прив.в.ч.}} = N_{\text{прив}i(\text{max})} \cdot 10, \quad (7)$$

где  $N_{\text{прив.в.ч.}}$  - приведенная интенсивность пассажирского транспортного потока с учетом внутричасовой неравномерности, ед./ч;

$N_{\text{прив}i(\text{max})}$  – приведенная интенсивность движения пассажирского транспорта в наиболее максимальный 6-ти минутный интервал времени, ед./ч.

Расчет потока насыщения для полосы движения общественного транспорта. Влияние ширины проезжей части на поток насыщения на полосах общественного транспорта на данный момент не изучен. Поэтому при движении в прямом направлении по улице без продольных уклонов поток насыщения можно принять равным 1800 ед./час или рассчитать по следующей формуле:

$$M_{\text{п.т.прямо}} = 525 \cdot B_{\text{пд}}, \quad (8)$$

где  $M_{\text{п.т.прямо}}$  – поток насыщения для полосы предназначенной для движения пассажирского транспорта (прямое направление без уклонов), ед./ч;

$B_{\text{пд}}$  – ширина полосы движения пассажирского транспорта, м.

Для более точного расчета потока насыщения, для полос общественного транспорта, где движение организовано в несколько направлений (прямо, налево, направо) предлагается использовать следующую формулу:

$$M_{п.т.} = M_{п.т.Прямо} \cdot \frac{100}{a+1,75b+1,25c}, \quad (9)$$

где  $M_{п.т.}$  – расчетный поток насыщения для полос общественного транспорта на которых разрешено движение в нескольких направлениях, ед./ч;

$a$ ,  $b$  и  $c$  – интенсивность движения подвижного состава пассажирского транспорта соответственно прямо, налево и направо, ед./ч.

Расчет фазовых коэффициентов. Следующим этапом расчета светофорного объекта является определение фазовых коэффициентов. Для расчета фазовых коэффициентов необходимо использовать формулу (2). В данной формуле необходимы данные об интенсивности движения, которую авторы предлагают рассчитывать по формуле (7), а также значения потока насыщения, рассчитываемые по формулам (8) или (9).

Расчет промежуточных тактов для полос общественного транспорта. Важно отметить, что подвижной состав пассажирского транспорта имеет гораздо большие размеры, чем легковые автомобили. В связи с этим время завершения маневра для них требуется несколько большее. Учитывая данный фактор, авторы предложили отдельную формулу для расчет промежуточных тактов, используемых при светофорном регулировании выделенных полос для движения пассажирского транспорта.

$$t_T = \frac{3,6 \cdot S_T}{V_T}, \quad (10)$$

где  $t_T$  – время разрешающего такта необходимого для пропуска трамвайного поезда, сек.

$S_T$  – путь движения трамвая от стоп-линии до самой дальней конфликтной точки с транспортными средствами или пешеходами, начинающими движение в следующей фазе, в м;

$V_T$  – скорость движения трамвая в пределах пересечения в км/ч.

Расчет циклов и тактов светофорного регулирования. При расчете тактов и циклов светофорного регулирования, на перекрестках с полосами для движения общественного транспорта, необходимо выделить два отдельных варианта.

В первом варианте, движение общественного транспорта организовано без конфликта с другими направлениями движения (смотрим рисунок 3Б). Это означает, что подвижной состав пассажирского транспорта не сдерживает другие направления движения автомобилей и не снижает их пропускную способность.

В данном случае расчет цикла светофорного регулирования осуществляется в соответствии с формулой (1), а разрешающих тактов в соответствии со следующим выражением:

$$t_{0i} = \frac{(T - T_n) y_i}{Y}, \quad (11)$$

где  $t_{0i}$  – длительность разрешающего такта, для  $i$ -го направления движения, сек.

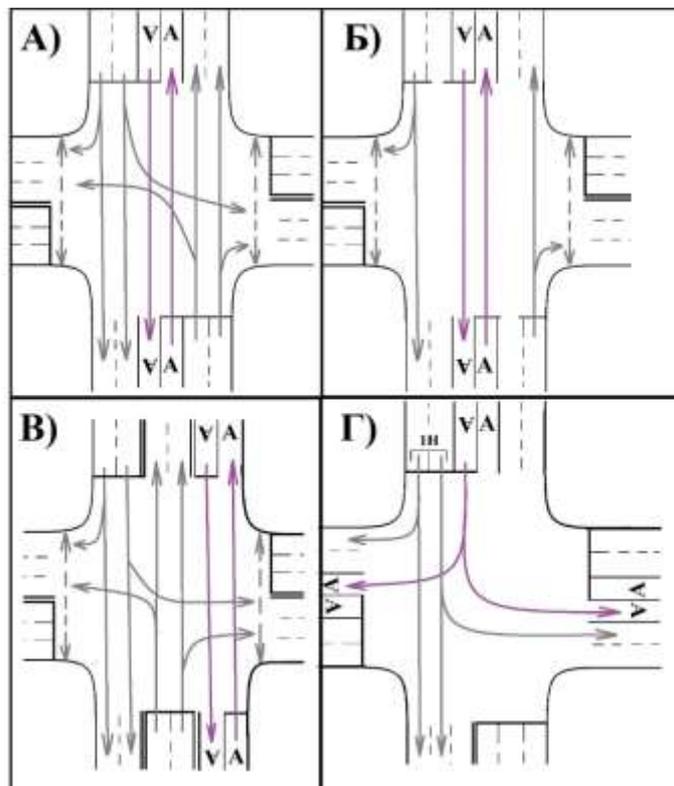
$T$  – длительность светофорного цикла, с;

$T_n$  – сумма промежуточных тактов, с;

$Y$  – сумма фазовых коэффициентов (рассчитывается суммированием фазовых коэффициентов отдельных фаз  $y_1, y_2, \dots, y_n$ )

Во втором варианте, подвижной состав общественного транспорта осуществляет движение через перекресток в одной и той же фазе, что и другие участники движения. Примеры организации таких схем показаны на рисунке 3А, 3В, 3Г.

Как видно из рисунка 3Г, подвижной состав общественного транспорта, при движении с северного направления направо и налево, конфликтует с автомобилями (направление 1Н), движущимися в этой же фазе прямо и налево. Так как общественный транспорт (обычно это трамвайные вагоны), при движении через перекресток имеет преимущества, то транспортному потоку направления 1Н, приходится некоторое время пропускать вагоны, снижая эффективное время разрешающего такта. Если для транспортного потока направления 1Н, не увеличить время разрешающего такта, чтобы скомпенсировать данные потери, то достаточно быстро на перекрестке образуется транспортный затор.



**Рисунок 3** – Примеры организации движения городского общественного транспорта на регулируемых перекрестках в конфликте и без конфликта с другими направлениями движения

Для случая с конфликтным движением пассажирского транспорта и транспорта общего пользования, предлагается несколько иная методика расчета фазовых коэффициентов. В первую очередь это касается фазового коэффициента для направления 1Н.

При расчете фазового коэффициента направления 1Н, предлагается суммировать фазовый коэффициент полученные в результате расчета выделенной полосы общественного транспорта  $u_{п.т}$  и фазового коэффициента направления 1Н -  $u_{1Н}$ . Расчет длительности разрешающего такта, полученный подобным образом, позволит скомпенсировать время, которое теряют автомобили пропуская подвижной состав общественного транспорта.

$$u_{1Н}^* = u_{п.т} + u_{1Н}, \quad (12)$$

где  $u_{1Н}^*$  - откорректированный фазовый коэффициент для направления 1Н, с учетом сдерживания его пассажирским транспортом;

$u_{п.т}$  – расчетное значение фазового коэффициента для выделенной полосы общественной транспорта;

$u_{1Н}$  - расчетное значение фазового коэффициента для направления транспорта 1Н.

### **Результаты и обсуждение**

В данной статье рассмотрена уточненная методика расчета тактов и циклов светофорного регулирования. Данная методика позволит снизить задержки транспорта на регулируемых перекрестках, улучшить качество организации движения узла в целом, а также снизить вероятность образования заторов. Материалы данной статьи могут быть использованы инженерами и специалистами для расчета оптимальной длительности тактов и циклов светофорного регулирования.

### **Выводы**

Дальнейшее расширение области применения выделенных полос, предназначенных для движения общественного транспорта потребует проведения новых научных исследований. В первую очередь это касается таких показателей, как поток насыщения и коэффициенты приведения к легковому автомобилю. Кроме того, необходимы исследования в части взаимодействия различных типов подвижного состава при движении на полосах общественного транспорта.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Цариков А.А., Обухова Н.А., Мирзоев Н.З. Анализ системы заторов на улично-дорожной сети города Екатеринбурга за последние 15 лет // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и до-

- рожно-транспортного комплекса: Материалы Международной научно-практической конференции. - Хабаровск: Тихоокеан. Гос. Ун-т. - 2015 - С. 82-87.
2. Цариков А.А., Обухова Н.А., Мирзоев Н.З. Эволюция системы заторов на улично-дорожной сети города Екатеринбурга // Инновационный транспорт: Научно-публицистическое издание. – Екатеринбург: АМБ. - 2015. - №4(18). – С. 74-86.
  3. 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.
  4. 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. - Хабаровск: Тихоокеан. Гос. Ун-т. – 2018. - В 2 т. - С. 379-382.
  5. Лыткина А.А. Область эффективного применения приоритетного пропуска городского пассажирского транспорта через регулируемые перекрестки // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – Иркутск: ИрНТУ. - 2010. - №5(45). - С. 137-148.
  6. Колесников С.В., Кузина Ю.В. Создание приоритетных условий движения пассажирских транспортных средств общего пользования по отношению к иным транспортным средствам // Молодой ученый: Международный научный журнал. – Казань: ООО «Издательство Молодой ученый». - 2017. - №20(154). - С. 35-39
  7. Цариков А.А., Коньков А.А., Полуяхтова Е.А. К вопросу организации приоритетных условий движения для общественного транспорта в городах России // Научные чтения памяти профессора М.П. Даниловского: Материалы Восемнадцатой Национальной научно-практической конференции. - Хабаровск: Тихоокеан. Гос. Ун-т. – 2018. - В 2 т. - С. 374-378.
  8. Цариков А.А. Проблемы обособления трамвайных путей в крупных и крупнейших городах России // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния: Материалы XXII Международной (двадцать пятой Екатеринбургской) научно-практической конференции. - Екатеринбург: АМБ. - 2016. - С. 357-363.
  9. ОДМ 218.6.003-2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. – 69 с.
  10. Webster F. Traffic signal settings // Road research technical paper. – London. – 1958. - №39.
  11. Highway capacity manual // TRB, Washington, DC. - 2000. – 1134 p.
  12. Teply S., Allingham D., Richardson D., Stephenson B. Second edition of the canadian capacity guide for signalized intersections. - Institute of transportation engineers. – Canada, 1995. – 115 p.
  13. Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS 2001). – Forsh ungs-gesellschaft fuer strassen und verkehrswesen, Koeln, 2002.
  14. Кременец Ю.А., Печерский М.П., Шелков Ю.Д. Применение технических средств для управления дорожным движением. Учебное пособие ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1974. – 186 с.
  15. Поляков А.А. Организация движения на улицах и дорогах. – М.: Транспорт, 1965. – 376 с.
  16. Владимиров В.А., Загородников Г.Д., Инженерные основы организации дорожного движения. - Стройиздат, 1975. – 455 с.
  17. Поляков А.А. Городское движение и планировка улиц. – М.-Л.: Госстройиздат, 1953. – 252 с.
  18. Рэнкин В.У. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник / Пер. с англ. В.У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
  19. Кременец Ю.А., Печерский М.П. Технические средства регулирования дорожного движения: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с.
  20. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Головных И.М. Проектирование регулируемых пересечений: Учебное пособие. – Иркутск: ИрГТУ, 2007. – 208 с.
  21. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2012 – 148 с.

**Неволин Дмитрий Германов**

Уральский государственный университет путей сообщения

Адрес: 620034. 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. г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

К.т.н., доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

E-mail: Zarikof@mail.ru

---

D.G. NEVOLIN, A.A. TSARIKOV

**IMPROVING THE METHODOLOGY FOR CALCULATING THE CYCLES AND CYCLES OF TRAFFIC LIGHT REGULATION, TAKING INTO ACCOUNT THE ORGANIZATION OF SEPARATE LANES FOR PASSENGER TRANSPORT**

**Abstract.** The article discusses the problematic issues of calculating the cycles and cycles of traffic light regulation, in terms of individual lanes allocated for the movement of urban passenger transport. A methodology for studying the intensity of passenger transport traffic and the coefficients of their ghosting to passenger transport is proposed. Proposals have been developed to improve the existing methodology for calculating the cycles and cycles of traffic light regulation, through the use of phase coefficients for individual lanes intended for passenger transport.

**Keywords:** traffic management, traffic light regulation, urban passenger transport, lanes for passenger transport

## BIBLIOGRAPHY

1. Tsarikov A.A., Obukhova N.A., Mirzoev N.Z. Analiz sistemy zatorov na ulichno-dorozhnoy seti goroda Ekaterinburga za poslednie 15 let // Dal'niy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksa: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Habarovsk: Tikhookean. Gos. Un-t. - 2015. - S. 82-87.
2. Tsarikov A.A., Obukhova N.A., Mirzoev N.Z. Evolyutsiya sistemy zatorov na ulichno-dorozhnoy seti goroda Ekaterinburga // Innovatsionnyy transport: Nauchno-publitsisticheskoe izdanie. - Ekaterinburg: AMB. - 2015. - №4(18). - S. 74-86.
3. 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.
4. Tsarikov A.A., Har'kov A.V., Plotnikova O.V. Tyazhest' posledstviy razlichnykh vidov dorozhno-transportnykh proissheshtviy na primere gorodov Sverdlovskoy oblasti // Nauchnye chteniya pamyati professora M.P. Danilovskogo: Materialy Vosemnadtsatoy Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Habarovsk: Tikhookean. Gos. Un-t. - 2018. - V 2 t. - S. 379-382.
5. Lytkina A.A. Oblast' effektivnogo primeneniya prioritnogo propuska gorodskogo passazhirskogo transporta cherez reguliruyemye perekrestki // Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. - Irkutsk: IrNITU. - 2010. - №5(45). - S. 137-148.
6. Kolesnikov S.V., Kuzina Yu.V. Sozdanie prioritnykh usloviy dvizheniya passazhirskikh transportnykh sredstv obshchego pol'zovaniya po otnosheniyu k inym transportnym sredstvam // Molodoy uchenyy: Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. - Kazan': OOO «Izdatel'stvo Molodoy uchenyy». - 2017. - №20(154). - S. 35-39
7. Tsarikov A.A., Kon'kov A.A., Poluyakhtova E.A. K voprosu organizatsii prioritnykh usloviy dvizheniya dlya obshchestvennogo transporta v gorodakh Rossii // Nauchnye chteniya pamyati professora M.P. Danilovskogo: Materialy Vosemnadtsatoy Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Habarovsk: Tikhookean. Gos. Un-t. - 2018. - V 2 t. - S. 374-378.
8. Tsarikov A.A. Problemy obosobleniya tramvaynykh putey v krupnykh i krupneyshikh gorodakh Rossii // Sotsial'no-ekonomicheskie problemy razvitiya i funktsionirovaniya transportnykh sistem gorodov i zon ikh vliyaniya: Materialy XXII Mezhdunarodnoy (dvadtsat' pyatoy Ekaterinburgskoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Ekaterinburg: AMB. - 2016. - S. 357-363.
9. 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.
10. Webster F. Traffic signal settings // Road research technical paper. - London. - 1958. - №39.
11. Highway capacity manual // TRB, Washington, DC. - 2000. - 1134 p.
12. Teply S., Allingham D., Richardson D., Stephenson B. Second edition of the canadian capacity guide for signalized intersections. - Institute of transportation engineers. - Canada, 1995. - 115 p.
13. Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS 2001). Forsh ungs-gesellschaft fuer strassen und verkehrswesen, Koeln, 2002.
14. Kremenets Yu.A., Pecherskiy M.P., Shelkov YU.D. Primenenie tekhnicheskikh sredstv dlya upravleniya dorozhnym dvizheniem. Uchebnoe posobie VUZov. - M.: Vysshaya shkola, 1974. - 186 s.
15. Polyakov A.A. Organizatsiya dvizheniya na ulitsakh i dorogakh. - M.: Transport, 1965. - 376 s.
16. Vladimirov V.A., Zagorodnikov G.D., Inzhenernye osnovy organizatsii dorozhnogo dvizheniya. - Stroyizdat, 1975. - 455 s.
17. Polyakov A.A. Gorodskoe dvizhenie i planirovka ulits. - M.-L.: Gosstroyizdat, 1953. - 252 s.
18. Renkin V.U. Avtomobil'nye perevozki i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: Spravochnik / Per. s angl. V.U. Renkin, P. Klafi, S. Halbert i dr. - M.: Transport, 1981. - 592 s.
19. Kremenets Yu.A., Pecherskiy M.P. Tekhnicheskie sredstva regulirovaniya dorozhnogo dvizheniya: Ucheb. dlya vuzov. - M.: Transport, 1981. - 252 s.
20. Levashev A.G., Mikhaylov A.Yu., Golovnykh I.M. Proektirovanie reguliruyemykh peresecheniy: Uchebnoe posobie. - Irkutsk: IrGTU, 2007. - 208 s.
21. ODM 218.2.020-2012. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke propusknoy sposobnosti avtomobil'nykh dorog. - M.: Federal'noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor), 2012 - 148 s.

**Nevolin Dmitriy Germanov**  
Ural State University of Railway Transport  
Address: 620034, Russia, Ekaterinburg, Kolmagorova str.,  
66  
Doctor of technical sciences  
E-mail: innotrans@mail.ru

**Tsarikov Aleksey Alekseevich,**  
Ural State University of Railway Transport  
Address: 620034, Russia, Ekaterinburg, Kolmagorova str.,  
66  
Candidate of technical sciences  
E-mail: Zarikof@mail.ru

Научная статья

УДК 656: 072

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-95-102

В.В. СИВАКОВ, К.С. БОРОВАЯ, Е.А. ЮРКОВ

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРОЛЛЕЙБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК В Г. БРЯНСКЕ (НА ПРИМЕРЕ МАРШРУТОВ №91 И 9)

***Аннотация.** Рассмотрено состояние вопроса организации троллейбусных перевозок в г. Брянске и возможные направления их совершенствования. Проанализированы варианты использования разных видов транспорта для организации перевозок. Обоснована целесообразность при замене подвижного состава приобретения троллейбусов с динамической зарядкой, проезжающих до 60 км без необходимости подключения к контактной сети. Показана возможность замены автобусов на троллейбусы с динамической зарядкой без необходимости прокладки контактной сети.*

***Ключевые слова:** пассажирские перевозки, автобус, троллейбус, совершенствование транспортных процессов, организация перевозок*

### **Введение**

Пассажирские перевозки являются важной составляющей транспортного обслуживания населения города, во многом определяющей качество жизни. Однако, зачастую их организация далека от идеальной, причин этому несколько: изношенный подвижной состав, высокая загруженность дорожной сети, недостатки в планировании маршрутов и ряд других [1, 2].

В настоящее время городские пассажирские перевозки в Брянске осуществляются автобусами большой и средней вместимости, маршрутными такси и троллейбусами. Согласно концепции развития транспорта г. Брянска до 2025 года осуществляется постепенная замена маршрутных транспортных средств малой вместимости (коммерческие перевозки) на автобусы и троллейбусы муниципальных предприятий города.

За несколько лет проведена полная замена муниципальных автобусов (на дизельные автобусы экологического класса Евро 5) и начинается замена троллейбусного парка.

Целью статьи - определение возможного направления совершенствования пассажирских перевозок в г. Брянске при обновлении троллейбусного парка и троллейбусной сети города.

### **Материал и методы**

Совершенствование транспортного обслуживания населения городов осуществляется для повышения качества жизни [3-7].

Повышение эффективности управления городскими и пригородными пассажирскими перевозками возможно за счет широкого внедрения информационных технологий, используемых в самых разных областях, как по отдельности (определение пассажиропотоков, цифровизация оплаты проезда, планирование маршрутов), так и совместно, в рамках единой информационной системы [7-11]. Однако, создание и использование такой системы возможно только при наличии теоретической базы и средств ее создания, а также учета рисков для социальной и экономической сфер [12, 13].

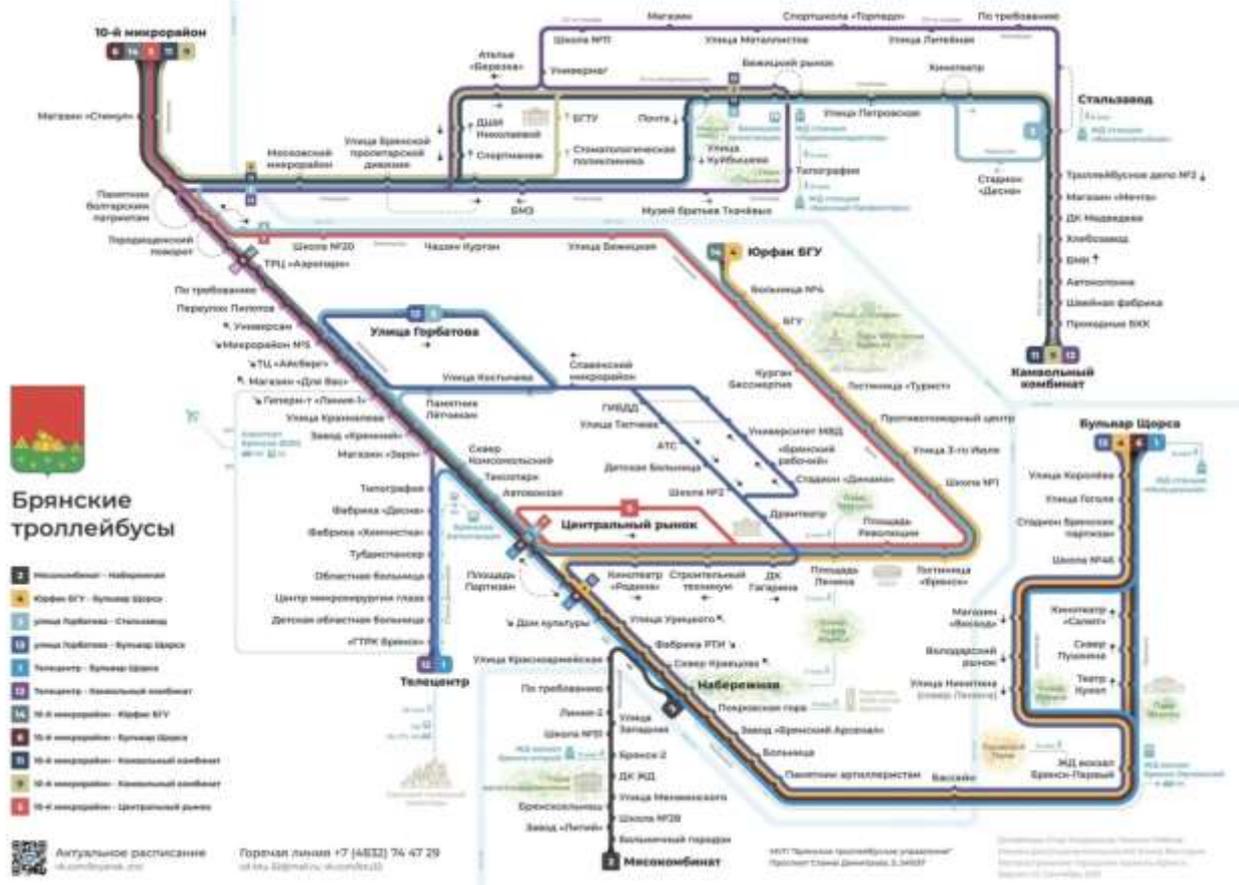
### **Теория**

Транспорт является одной из основных отраслей, в которой широко используются цифровые технологии, BIG DATA, для их обработки и построения прогнозных моделей применяются разные технологии, в том числе и нейронные сети [14].

Одно из основных требований к городскому транспорту – экологичность [15-17]. Особенно актуальна эта проблема для больших городов, поэтому наблюдаются поиски новых, альтернативных видов топлива, таких как природный газ, водород, биодизель, аккумуляторные электромобили [18, 19], а также стимулирование перехода транспорта на них [20, 21].

Очень важно при выборе основного вида муниципального транспорта рассмотреть их достоинства и недостатки.

Троллейбус является экологически чистым видом транспорта [22] и в лучшие годы на улицах г. Брянска работало около 100 троллейбусов. В настоящее время длина троллейбусной сети в городе Брянске составляет 149 км, количество маршрутов 12, схема движения троллейбусов представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 - Схема движения троллейбусов в Брянске**

Однако, в 90-е и 2000-е годы обновления троллейбусного парка не происходило, что привело практически к полной деградации троллейбусного сообщения, на маршруты выходило всего около трети троллейбусов со степенью их износа 90 % и более [1].

После замены автобусов [4] подошла очередь замены и троллейбусного парка, были заключены контракты на поставку и, по состоянию на декабрь 2022 года, в город Брянск привезли уже 25 новых троллейбусов из 100, которые планировалось закупить в рамках реализации инфраструктурного проекта по обновлению городского электротранспорта.

На фоне изношенных «ЗиУ-682» новые «Адмиралы» (модель ПКТС-6281.00) выглядят футуристично: композитные панели обшивки, огромные стёкла, светодиодная оптика, видеокамеры и электронные маршрутоуказатели, яркая подсветка (рис. 2). Салон рассчитан на 33 сидячих места, номинальная пассажировместимость - 96 человек. В поручни вмонтированы USB-разъёмы для подзарядки гаджетов, под потолком над окнами размещены видеомониторы, транслирующие изображения из диспетчерской через интернет. С целью безопасности троллейбус оснащен 9 камерами, расположенными как внутри, так и снаружи. Троллейбус оснащен валидаторами бесконтактной оплаты. Новый троллейбус быстро стал популярным среди пассажиров, чему способствовала и высокая скорость движения.



Рисунок 2 - Внешний вид новых троллейбусов «Адмирал»

В троллейбусах присутствует устройство подъёма-опускания штанг, позволяющее объехать, допустим, место ДТП или обесточенный участок, при этом водителю можно не выходить из кабины, а достаточно нажать на кнопку, штанги сложаются, и он может ехать дальше аварийным автономным ходом.

Электротранспорт намного экологичнее и дешевле в стоимости владения, нежели разрабатываемые водородные аналоги [18]. Учитывая существующие контактные сети в городах, троллейбусы ещё и выигрывают в экономии у электробусов, для которых нужны отдельные зарядные станции и время на подзарядку [15, 23-25].

Сравнительный анализ основных видов городского пассажирского транспорта представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительный анализ городского пассажирского транспорта

Вид транспорта	Достоинства	Недостатки
Троллейбус	-экономичность -экологичность -простота эксплуатации -низкий уровень шума	-низкая манёвренность -высокие расходы на содержание контактной сети
Электробус	-отсутствие выбросов -простота управления -отсутствие коробки передач -бесшумность -комфортность	-малая энергоёмкость АКБ -тяжёлые и большие АКБ -неудобен при дальних поездках -необходимы зарядные станции
Автобус	-хорошая манёвренность -комфортабельность -отсутствие расходов на содержание путей	-большие эксплуатационные расходы -высокое загрязнение окружающей среды -низкая надёжность подвижного состава -необходимость ежедневного ТО и заправки топлива

К сожалению, при замене автобусов проблеме экологии уделялось недостаточное внимание, поэтому приобретение автобусов, работающих на природном газе, в силу более высокой их стоимости, не предусматривалось.

Полная замена троллейбусов на электробусы ограничивается их высокой стоимостью, поэтому позволить ее может ограниченное число городов (например, г. Москва, где на начало 2023 г. работало более 1 тыс. электробусов и в течение 2023-2024 г. планируется приобрести еще столько же; при этом уже 25 августа 2020 года движение троллейбусов было полностью прекращено) [26].

Учитывая, что замена троллейбусов на электробусы в г. Брянске невозможна в силу экономических причин, целесообразно рассмотреть вариант использования электробуса с динамической зарядкой (подзарядкой в движении). Данный транспорт может передвигаться как по контактным сетям, по которым передвигаются троллейбусы, так и независимо от них,

т.к. оснащен аккумулятором малой ёмкости [27]. Данное решение позволит не выделять средства на демонтаж контактных сетей и установку зарядных станций для электробусов, а так же создавать такие маршруты движения, на которых троллейбус может двигаться независимо от зарядки, что позволит увеличить длину маршрута, заменить в отдельных случаях автобусные маршруты, обладающие высокой степенью дублирования [28, 30].

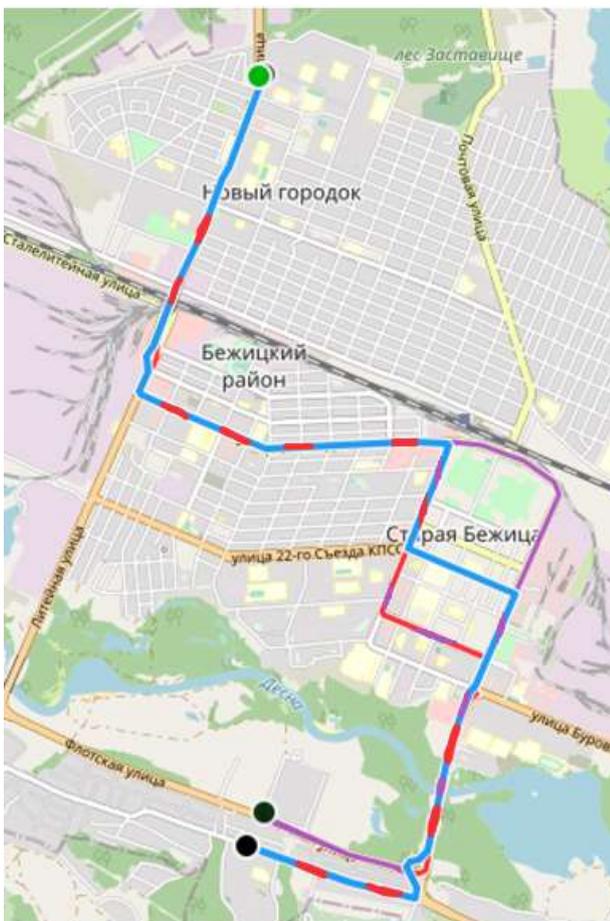
Таким образом, целесообразно оценить возможное применение троллейбусов с динамической зарядкой для оптимизации пассажирских перевозок на одном из маршрутов г. Брянска.

### **Результаты и обсуждение**

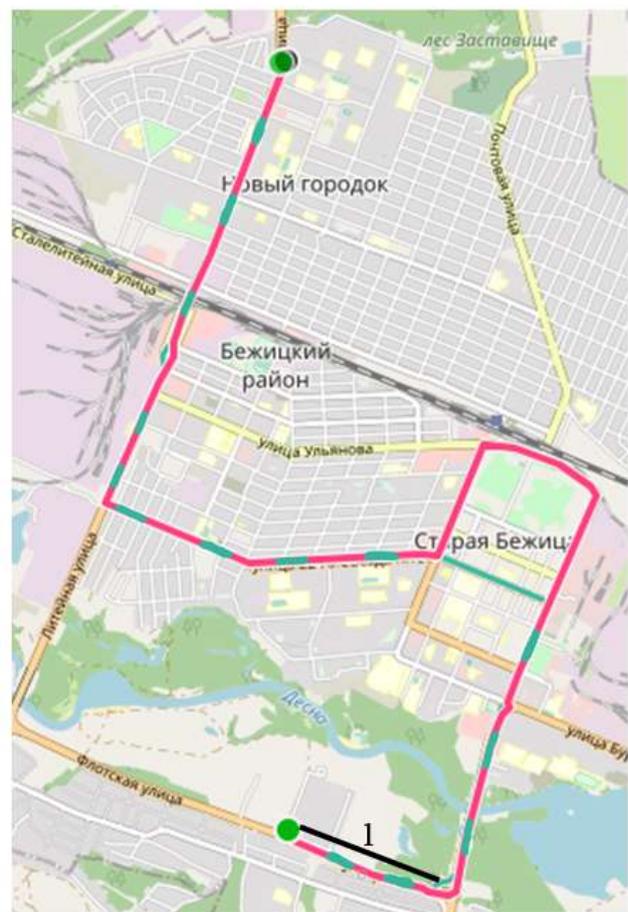
Автобусный маршрут № 91 (рис. 3) является кольцевым, его длина составляет 9,14 км, он даёт возможность быстро добраться до самых популярных мест Бежицкого района (Линия-3, БМЗ, БУМ-сити, БГТУ) от нового микрорайона Деснаград. К недостаткам маршрута относится малое число работающих автобусов, что приводит к большому интервалу их движения (35 мин).

Троллейбусный маршрут № 9 (рис. 3) является линейным, его длина составляет 11,27 км в прямом направлении и 11,35 км в обратном, проходит через весь Бежицкий район с интервалом движения 25 минут, при этом на маршруте работает всего 9 троллейбусов, часто выходящих из строя, что приводит к увеличению интервала движения до 50 минут.

Так как эти два маршрута являются похожими, их можно объединить (рис. 4), но возникает проблема, заключающаяся в том, что расстояние от микрорайона Деснаград до кольца длиной 1,4 км (линия 1, рис. 4) троллейбус проехать не сможет, так как там отсутствует контактная сеть, потому целесообразно на этом маршруте применить автобус, электробус или же троллейбус с динамической зарядкой.



**Рисунок 3 – Схема движения автобуса на маршруте 91 (фиолетовый) и троллейбуса №9 (прямой – синий, обратный – красный)**



**Рисунок 4 – Предлагаемая схема движения электробуса (розовый – прямой, зелёный – обратный)**

При выборе транспорта для данного маршрута выполнено сравнение возможных затрат (табл. 2). В качестве модели троллейбуса с динамической зарядкой рассматривалась модель троллейбуса УТТЗ - 624101 «Горожанин», которая может проехать без подключения к контактной сети до 30 километров. Новая модификация троллейбуса ПКТС-6281.01 «Адмирал» имеет запас автономного хода до 15 км.

Таблица 2 - Сравнительная эффективность транспорта на предлагаемом маршруте

Параметры	Автобус ЛИАЗ 5292 (дизельный ДВС/ природный газ)	Электробус с динамической зарядкой	Троллейбус	Троллейбус УТТЗ- 624101 «Горожанин»
Срок службы, лет	7 (9)	15	14	15
Цена единицы ТС, млн.	12,4 (15,4)	33	17	22
Цена технического обслуживания, тыс. руб.	30 – 50	15-40	15-30	20-30
Стоимость постройки контактной сети, млн./км	0	0	10	-
Годовая стоимость обслуживания контактной сети тыс./км	0	500	500	500
Выбросы CO, HC, NO <sub>y</sub> , г/км	до 0,8 (0,5), до 0,05 (0,03), до 0,06 (0,04)	0	0	0

На основании таблицы 2 установлено, применение троллейбуса с динамической зарядкой для замены применяемого автобуса возможно, при этом дополнительных затрат для прокладки контактной сети не потребуется, а с учетом экологической составляющей является целесообразным.

### **Выводы**

Совершенствование маршрутной сети пассажирского транспорта является важной задачей, для решения которой необходимо широко применять цифровые технологии, позволяющие оптимизировать как затраты транспортных компаний, так и повысить качество транспортного обслуживания населения.

Троллейбусы как вид городского экологического транспорта в новых условиях имеют все шансы на продолжение своей службы, особенно учитывая возможность использования динамической зарядки для автономного хода, что позволяет не отказываться от существующей в ряде городов контактной сети в пользу автобусного или электробусного сообщения [29].

В работе обоснована целесообразность приобретения троллейбусов с запасом автономного хода, позволяющем заменить дублируемые автобусные маршруты без необходимости строительства продолжения контактной сети.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Боровая К.С., Сиваков В.В. Анализ организации транспортной сети муниципального транспорта г. Брянска // Экономика и эффективность организации производства. – 2018. – №28. – С. 31-34.
2. Сиваков В.В., Тихомиров П.В., Камынин В.В., Синицын С.С. Анализ результатов обследования пассажиропотоков на отдельных маршрутах коммерческого транспорта в г. Брянске // Мир транспорта и технологических машин. - 2020. - №4(71). - С. 46-53. - DOI: 10.33979/2073-7432-2020-71-4-46-53.
3. Ковалев Р.Н., Боярский С.Н. Экономика и управление пассажирскими перевозками на автомобильном транспорте. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. - 137 с.
4. Сиваков В.В., Камынин В.В., Тихомиров П.В. Совершенствование городских пассажирских перевозок (на примере г. Брянска) // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. - 2020. - №4. - С. 61-69. - DOI: 10.15593/24111678/2020.04.07.

5. Терентьев В.В. Улучшение транспортного обслуживания населения города // Транспортное дело России. - 2017. - №4. - С. 91-92.
6. Бодров А.С., Кулев М.В., Девятина Д.Ш., Лобынцева О.А. Оценка готовности Орловской городской агломерации к внедрению интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. - 2020. - №3(70). - С. 64-71. - DOI: 10.33979/2073-7432-2020-70-3-64-71.
7. Руденко М.Н., Ганин И.О. Основные принципы концепции развития общественного транспорта мегаполиса (на примере города Перми) // Региональная экономика: теория и практика. - 2012. - №32. - С. 36-41.
8. Николаев Н.Н., Бельц А.Ф. Оптимизация состава автопарка для пассажирских перевозок на маршруте №3 г. Шахты с применением информационных технологий // Мир транспорта и технологических машин. - 2018. - №4(63). - С. 89-95.
9. Сиваков В.В., Боровая К.С. Внедрение информационных технологий при организации пассажирских маршрутных перевозок в г.Брянске // Транспортное дело России. - 2019. - №4. - С. 98-99.
10. Корчагин В.А., Новиков А.Н., Ляпин С.А., Ризаева Ю.Н. Сложные саморазвивающиеся транспортные системы // Мир транспорта и технологических машин. - 2016. - №2(53). - С. 110-116.
11. Козлов П.А. Информационные технологии на транспорте. Современный этап // Транспорт Российской Федерации. - 2007. - №10(10). - С. 38-41.
12. Гребенкина С.А., Гребенкина И.А. Потенциальные риски внедрения цифровых технологий на транспорте в социальной и экономической сферах РФ // Вестник НГИЭИ. - 2021. - №6(121). - С. 68-79. - DOI: 10.24412/2227-9407-2021-6-68-79.
13. Журавлева Н.А. Проблемы внедрения цифровых технологий на транспорте // Транспорт Российской Федерации. - 2019. - №3(82). - С. 19-22.
14. Тихомиров П.В., Сиваков В.В., Камынин В.В., Сеницын С.С. Применение искусственных нейронных сетей в задачах прогнозирования транспортных процессов // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - №2(77). - С. 116-124. - DOI: 10.33979/2073-7432-2022-77-2-116-124.
15. Algin V.B., Goman A.M., Skorokhodov A.S. Main operational factors determining the energy consumption of the urban electric bus: schematization and modelling // Topical Issues of Mechanical Engineering. - 2019. - Vol. 8. - P. 185-194.
16. Algin V.B. Electrification of urban transport. Basic stages in creating electric buses fleet // Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials. - 2018. - №3(44). - P. 5-17.
17. Иванов О.Н., Листов Н.О., Остроух А.В. Исследование технических характеристик электробусов, как перспективных видов наземного пассажирского транспорта // International Journal of Advanced Studies. - 2017. - Т. 7. - №4-2. - С. 29-48.
18. Бондаренко Е.В., Филиппов А.А. Оценка экологической опасности и экономической эффективности эксплуатации автомобилей на альтернативных видах топлива // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2004. - №7(32). - С. 138-142.
19. Муфтахитдинов Т. И. Электрический транспорт - троллейбусы и электробусы // Вестник Сибирского Отделения Академии Военных Наук. - 2021. - №61. - С. 64-68.
20. Сакаро Г. А. Мировой опыт стимулирования перехода автомобилей на альтернативные виды топлива // Экономика, социология и право. - 2017. - №5. - С. 36-42.
21. Карпусь Н.П., Ли Сянжун Энергосберегающие и альтернативные автомобили в автопроме Китая // Российское предпринимательство. - 2011. - №2. - С. 132-136.
22. Иванов О.Н., Листов Н.О., Остроух А.В. Исследование технических характеристик электробусов, как перспективных видов наземного пассажирского транспорта // International Journal of Advanced Studies. - 2017. - Т. 7. - №4-2. - С. 29-48.
23. Дубровин И., Дубровин Е. Экономика логистики: электробус или традиционный автобус? // Логистика. - 2019. - №4(149). - С. 48-51.
24. Феофанов С.А., Лайко Е.М., Феофанова Л.С. Электробусы и зарядная инфраструктура в условиях мегаполисов // Автомобильная промышленность. - 2019. - №2. - С. 31-35.
25. Горбунова А. Д. Анализ факторов, влияющих на выбор городского регулярного маршрута для ввода электробуса // Вестник гражданских инженеров. - 2021. - №4(87). - С. 127-133. - DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133.
26. Московский троллейбус [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Московский\\_троллейбус](https://ru.wikipedia.org/wiki/Московский_троллейбус)
27. Электробус с подзарядкой в движении [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://clck.ru/33L7cf>
28. Сиваков В.В., Тихомиров П.В., Камынин В.В. Исследование маршрутной совмещенности пассажирской сети города Брянска // Мир транспорта и технологических машин. - 2021. - №3(74). - С. 43-49. - DOI: 10.33979/2073-7432-2021-74-3-43-49.
29. Слутин А.Ф., Ручкина Л.Г., Бугреев В.А. Моделирование режимов движения и сравнительная оценка топливно-энергетической эффективности гибридного электробуса // Наука и техника транспорта. - 2021. - №1. - С. 51-56.
30. Новиков А.Н., Иващук О.А., Васильева В.В. Использование математических методов в системе мониторинга акустической среды г. Орла // Актуальные вопросы подготовки специалистов по направлению «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования» в условиях рыночной экономики: сборник

научных статей международной научно-практической конференции / под ред. А.Н. Новикова. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс». - 2006. – С. 148-151.

**Сиваков Владимир Викторович**

Брянский государственный инженерно-технологический университет  
Адрес: 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3  
К.т.н., доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и сервис», заместитель директора по учебной работе Института лесного комплекса, транспорта и экологии  
E-mail: sv@bgitu.ru

**Боровая Кристина Сергеевна**

Брянский государственный инженерно-технологический университет  
Адрес: 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3  
Аспирант  
E-mail: kristina260319@mail.ru

**Юрков Евгений Андреевич**

Брянский государственный инженерно-технологический университет  
Адрес: 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3  
Магистрант  
E-mail: iurkow.j@ya.ru

V.V. SIVAKOV, K.S. BOROVAYA, E.A. YURKOV

**IMPROVEMENT OF TROLLEYBUS TRANSPORTATION IN BRYANSK (BY THE EXAMPLE OF ROUTES №91 AND 9)**

*Abstract.* The state of the issue of organizing trolleybus transportation in the city of Bryansk and possible directions for their improvement are considered. The options for using different types of transport for organizing transportation are analyzed. The expediency of acquiring trolleybuses with dynamic charging, traveling up to 60 km without the need to connect to a contact network, is substantiated when replacing rolling stock. The possibility of replacing buses with trolleybuses with dynamic charging without the need to lay a contact network is shown.

*Keywords:* passenger transportation, bus, trolleybus, improvement of transport processes, organization of transportation

**BIBLIOGRAPHY**

1. Borovaya K.S., Sivakov V.V. Analiz organizatsii transportnoy seti munitsipal'nogo transporta g. Bryanska // *Ekonomika i effektivnost' organizatsii proizvodstva*. - 2018. - №28. - S. 31-34.
2. Sivakov V.V., Tikhomirov P.V., Kamynin V.V., Sinitsyn S.S. Analiz rezul'tatov obsledovaniya passazhiropotokov na otdel'nykh marshrutakh kommercheskogo transporta v g. Bryanske // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2020. - №4(71). - S. 46-53. - DOI: 10.33979/2073-7432-2020-71-4-46-53.
3. Kovalev R.N., Boyarskiy S.N. *Ekonomika i upravlenie passazhirskimi perevozkami na avtomobil'nom transporte*. - Ekaterinburg: UGLTU, 2015. - 137 s.
4. Sivakov V.V., Kamynin V.V., Tikhomirov P.V. Sovershenstvovanie gorodskikh passazhirskikh perevozk (na primere g. Bryanska) // *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. - 2020. - №4. - S. 61-69. - DOI: 10.15593/24111678/2020.04.07.
5. Terent'ev V.V. Uluchshenie transportnogo obsluzhivaniya naseleniya goroda // *Transportnoe delo Rossii*. - 2017. - №4. - S. 91-92.
6. Bodrov A.S., Kulev M.V., Devyatina D.Sh., Lobyntseva O.A. Otsenka gotovnosti Orlovskoy gorodskoy aglomeratsii k vnedreniyu intellektual'nykh transportnykh sistem // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2020. - №3(70). - S. 64-71. - DOI: 10.33979/2073-7432-2020-70-3-64-71.
7. Rudenko M.N., Ganin I.O. Osnovnye printsipy kontseptsii razvitiya obshchestvennogo transporta megapolisa (na primere goroda Permi) // *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*. - 2012. - №32. - S. 36-41.
8. Nikolaev N.N., Bel'ts A.F. Optimizatsiya sostava avtoparka dlya passazhirskikh perevozk na marshrute №3 g. Shakhty s primeneniem informatsionnykh tekhnologiy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2018. - №4(63). - S. 89-95.
9. Sivakov V.V., Borovaya K.S. Vnedrenie informatsionnykh tekhnologiy pri organizatsii passazhirskikh marshrutnykh perevozk v g. Bryanske // *Transportnoe delo Rossii*. - 2019. - №4. - S. 98-99.
10. Korchagin V.A., Novikov A.N., Lyapin S.A., Rizaeva Yu.N. Slozhnye samorazvivayushchiesya transportnye sistemy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - 2016. - №2(53). - S. 110-116.
11. Kozlov P.A. Informatsionnye tekhnologii na transporte. Sovremennyy etap // *Transport Rossiyskoy Federatsii*. - 2007. - №10(10). - S. 38-41.

12. Grebenkina S.A., Grebenkina I.A. Potentsialnye riski vnedreniya tsifrovyykh tekhnologiy na transporte v sotsialnoy i ekonomicheskoy sferakh RF // Vestnik NGIEI. - 2021. - №6(121). - S. 68-79. – DOI: 10.24412/2227-9407-2021-6-68-79.
13. Zhuravleva N.A. Problemy vnedreniya tsifrovyykh tekhnologiy na transporte // Transport Rossiyskoy Federatsii. - 2019. - №3(82). - S. 19-22.
14. Tikhomirov P.V., Sivakov V.V., Kamynin V.V., Sinitsyn S.S. Primenenie iskusstvennykh neyronnykh setey v zadachakh prognozirovaniya transportnykh protsessov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №2(77). - S. 116-124. – DOI: 10.33979/2073-7432-2022-77-2-116-124.
15. Algin V.B., Goman A.M., Skorokhodov A.S. Main operational factors determining the energy consumption of the urban electric bus: schematization and modelling // Topical Issues of Mechanical Engineering. - 2019. - Vol. 8. - P. 185-194.
16. Algin V.B. Electrification of urban transport. Basic stages in creating electric buses fleet // Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials. - 2018. - №3(44). - P. 5-17.
17. Ivanov O.N., Listov N.O., Ostroukh A.V. Issledovanie tekhnicheskikh kharakteristik elektrobusov, kak perspektivnykh vidov nazemnogo passazhirskogo transporta // International Journal of Advanced Studies. - 2017. - T. 7. - №4-2. - S. 29-48.
18. Bondarenko E.V., Filippov A.A. Otsenka ekologicheskoy opasnosti i ekonomicheskoy effektivnosti ekspluatatsii avtomobiley na alternativnykh vidakh topliva // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2004. - №7(32). - S. 138-142.
19. Muftakhitdinov T. I. Elektricheskii transport - trolleybusy i elektrobusy // Vestnik Sibirskogo Otdeleniya Akademii Voennykh Nauk. - 2021. - №61. - S. 64-68.
20. Sakaro G. A. Mirovyy opyt stimulirovaniya perekhoda avtomobiley na alternativnye vidy topliva // Ekonomika, sotsiologiya i pravo. - 2017. - №5. - S. 36-42.
21. Karpus N.P., Li Syanzhun Energoberegayushchie i alternativnye avtomobili v avtoprome Kitaya // Rossiyskoe predprinimatel'stvo. - 2011. - №2. - S. 132-136.
22. Ivanov O.N., Listov N.O., Ostroukh A.V. Issledovanie tekhnicheskikh kharakteristik elektrobusov, kak perspektivnykh vidov nazemnogo passazhirskogo transporta // International Journal of Advanced Studies. - 2017. - T. 7. - №4-2. - S. 29-48.
23. Dubrovin I., Dubrovin E. Ekonomika logistiki: elektrobus ili traditsionnyy avtobus? // Logistika. - 2019. - №4(149). - S. 48-51.
24. Feofanova S.A., Layko E.M., Feofanova L.S. Elektrobusy i zaryadnaya infrastruktura v usloviyakh megapolisov // Avtomobil'naya promyshlennost'. - 2019. - №2. - S. 31-35.
25. Gorbunova A. D. Analiz faktorov, vliyayushchikh na vybor gorodskogo regul'yarnogo marshruta dlya vvoda elektrobusa // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2021. - №4(87). - S. 127-133. – DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133.
26. Moskovskiy trolleybus [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Moskovskiy\\_trolleybus](https://ru.wikipedia.org/wiki/Moskovskiy_trolleybus)
27. Elektrobus s podzaryadkoy v dvizhenii [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://clck.ru/33L7cf>
28. Sivakov V.V., Tikhomirov P.V., Kamynin V.V. Issledovanie marshrutnoy sovmeshchennosti passazhirskoy seti goroda Brvanska // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №3(74). - S. 43-49. - DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-43-49.
29. Slutin A.F., Ruchkina L.G., Bugreev V.A. Modelirovanie rezhimov dvizheniya i sravnitel'naya otsenka toplivno-energeticheskoy effektivnosti gibridnogo elektrobusa // Nauka i tekhnika transporta. - 2021. - №1. - S. 51-56.
30. Novikov A.N., Ivashchuk O.A., Vasil'eva V.V. Ispol'zovanie matematicheskikh metodov v sisteme monitoringa akusticheskoy sredy g. Orla // Aktualnye voprosy podgotovki spetsialistov po napravleniyu «Ekspluatatsiya nazemnogo transporta i transportnogo oborudovaniya» v usloviyakh rynochnoy ekonomiki: sbornik nauchnykh statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / pod red. A.N. Novikova. - Orel: FGBOU VPO «Gosudarstvennyy universitet - uchebno-nauchno-proizvodstvennyy kompleks». - 2006. - S. 148-151.

**Sivakov Vladimir Viktorovich**

Bryansk State University of Engineering and Technology  
Address: 241037, Russia, Bryansk, Stanke Dimitrov Ave.  
Candidate of technical sciences  
E-mail: sv@bgitu.ru

**Yurkov Evgeny Andreevich**

Bryansk State University of Engineering and Technology  
Address: 241037, Russia, Bryansk, Stanke Dimitrov Ave.  
Master's student  
E-mail: iurkow.j@ya.ru

**Borovaya Kristina Sergeevna**

Bryansk State University of Engineering and Technology  
Address: 241037, Russia, Bryansk, Stanke Dimitrov Ave.  
Graduate student  
E-mail: kristina260319@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-103-111

И.П. ЕМЕЛЬЯНОВ, И.О. КИРИЛЬЧУК, А.Н. БАРКОВ, К.А. ПЕРСИДСКАЯ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** Представленная работа открывает цикл статей, посвященных исследованию влияния локального проекта интеллектуальной транспортной системы, реализуемого в Курской области, на снижение негативного воздействия автотранспорта на компоненты окружающей среды и здоровье населения. Результаты проведенного авторами обзора доказывают актуальность исследований в данной области, при этом основное внимание необходимо уделять разработке комплексных мероприятий, обеспечивающих снижение экологического ущерба окружающей среде от воздействия автотранспорта.

**Ключевые слова:** интеллектуальная транспортная система, автотранспорт, окружающая среда, экологическая безопасность, индикаторы экологической безопасности

### Введение

В последние десятилетия наблюдается значительный рост негативного воздействия транспортного комплекса на окружающую среду урбанизированных территорий как в России, так и в других развитых странах. Функционирование различного вида транспорта сопровождается серьезным техногенным воздействием, состоящим в химическом загрязнении компонентов окружающей среды, а также в виброакустическом, тепловом и электромагнитном воздействии [1].

### Материал и методы

В современных исследованиях рассматриваются два основных метода решения различных проблем автотранспортного комплекса, включая повышение его экологической безопасности. Первый заключается в модернизации дорожной инфраструктуры, направленной на улучшение пропускной способности и повышение безопасности дорожной сети. Второй состоит в разработке и внедрении интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающих более эффективную эксплуатацию транспортной сети на основе информационных, коммуникационных и управленческих технологий, встроенных в транспортное средство или дорожную инфраструктуру.

Мероприятия, направленные на снижение негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду, схема которых представлена на рисунке 1, должны иметь комплексный характер.



Рисунок 1 – Мероприятия по снижению негативного воздействия автотранспорта

При этом система транспортной безопасности в свете устойчивого экологического развития должна предусматривать совокупность действий, минимизирующих прямую (например, через ДТП) или косвенную (например, через химическое или шумовое загрязнение среды обитания) угрозу существования живым организмам.

### *Теория*

Информационные транспортные системы планомерно разрабатываются и внедряются во многих европейских странах, экономически развитых стран Азиатско-Тихоокеанского региона, США еще с 80-х годов прошлого века. Результатом использования интеллектуальных транспортных систем (ИТС), стало снижение количество ДТП примерно на 50%, повысило пропускную способность дорог до 30 %, снизило расход топлива, и как следствие общую массу выбрасываемых продуктов горения в атмосферный воздух на 20 % [2-4].

На основе обобщения и анализа мирового опыта в нашей стране разработана концепция российской интеллектуальной транспортной системы (РИТС). Предполагается, что формирование национальной платформы «ИТС – Россия» приведет к системному развитию рынка ИТС в России.

Основой РИТС, как и всех интеллектуальных транспортных систем, является информация, которую необходимо собирать, обрабатывать, интегрировать и распространять. Схематично информационные потоки в РИТС представлены на рисунке 2.



*Рисунок 2 – Направление информационных потоков в интеллектуальной транспортной системе*

Комплекс интеллектуальных транспортных систем способен выполнять функции диспетчерского ситуационного и оперативного координирования взаимодействий всех участников дорожного движения, спецслужб и ведомств [5-8]. Он призван повысить уровень транспортной безопасности, снизить затраты и нагрузку на окружающую среду.

Для достижения указанных целей в составе РИТС выделяют функциональные и инструментальные подсистемы [9], представленные на рисунке 3.

В рамках развития российской интеллектуальной транспортной системы во многих городах РФ реализуются локальные проекты ИТС, в рамках которых внедрены в практику различные комбинации перечисленных функциональных и инструментальных подсистем ИТС [10-12].

В г. Воронеж в настоящее время широко используется система умных светофоров «Артемис», что позволило увеличить пропускную способность автотранспорта на 20 % и в свою очередь сократилось количество заторов на дорогах города [13].

В Южно-федеральном округе свое применения получили аэростаты высотного видеонаблюдения, которые способны осуществлять оперативный контроль за дорожной обстановкой в режиме реального времени [14-16].

В г. Москва используется автоматизированная система компании Адвантум - «НИЦ АГАТ». Внедрение системы позволило упорядочить грузоперевозки автомобильного транспорта массой более 2,5 т. и минимизировала вероятность проезда по жилым микрорайонам [17].

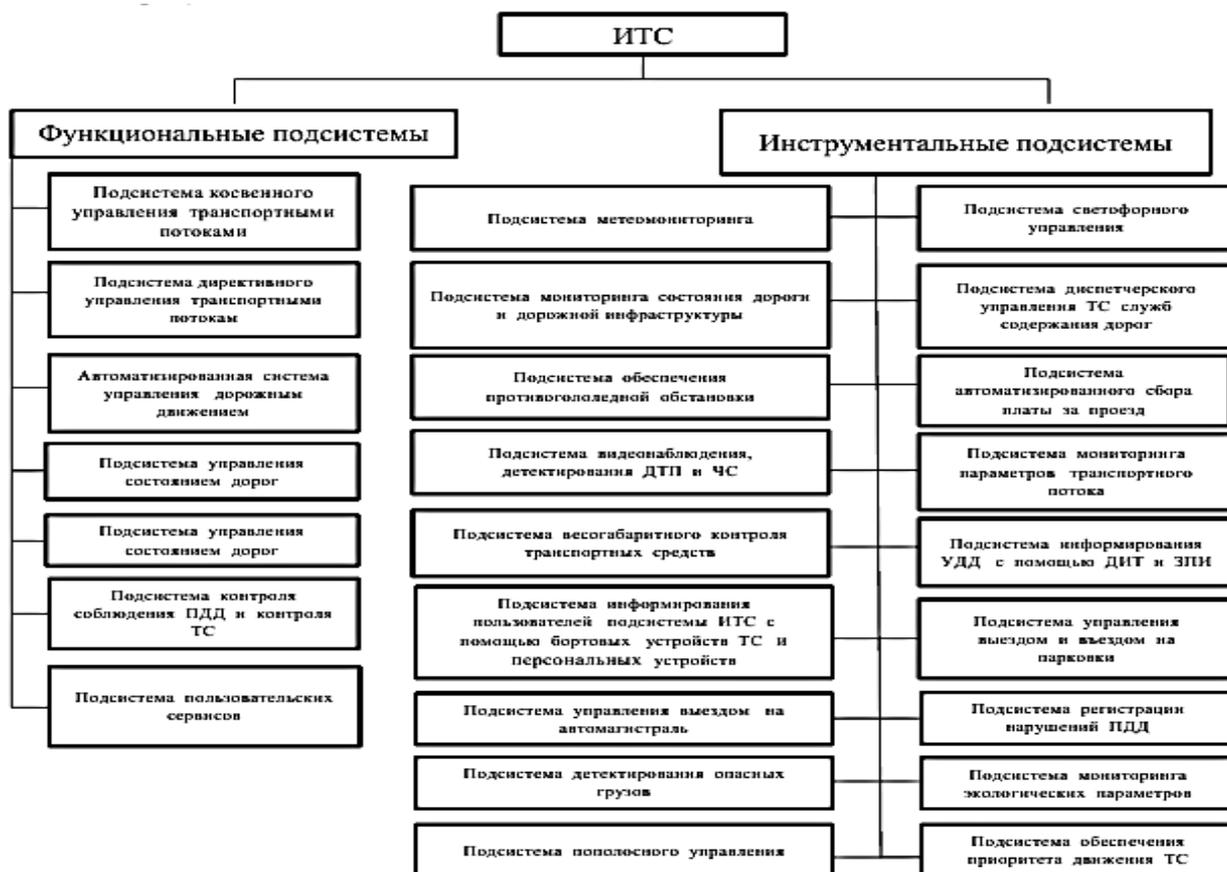


Рисунок 3 – Функциональные и инструментальные подсистемы

Практика применения транспондеров, позволила установить их высокую эффективность в области мониторинга дорожной обстановки. Примером успешной реализации данного технического решения могут послужить транспондера «Т-Pass» от компании ООО «Автодор-Платные Дороги» [18].

В г. Курск, внедрение организацией ГУПО «Информационный Центр «Регион-Курск» (оператор АСКОП) безналичного способа оплаты на маршрутном транспорте, снизило время остановки автобусов на остановках [19].

Кроме этого, с 2020 года на территории Курской области приступили к разработке и внедрению локального проекта интеллектуальной транспортной системы. Согласно Концепции интеллектуальной транспортной системы, утвержденной постановлением Администрации Курской области от 2 апреля 2020 г. N 328-па, в настоящее время на базе ОКУ «Комитет автодорог Курской области» развернута часть ИТС, которая состоит из шести подсистем, представленных на рисунке 4.



Рисунок 4 – Подсистемы ИТС ОКУ «Комитет автодорог Курской области»

За счет средств Федерального бюджета на территории области планируется установить умные светофоры, 45 комплексов видеонаблюдения, станции метео- и экоконтроля. Реализацию проекта планируется начать с внедрения системы автоматизированного управления дорожным движением по улице Карла Маркса г. Курска путем установки станций метеорологического и экологического контроля, комплексов фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения и 10 умных светофоров на аварийно-опасных участках.

Помимо этого, на участке проспекта Ленинского Комсомола от трассы М2 до улицы Крюкова г. Курска развернут Макет платформы «Автодата» (пилотный проект НП «ГЛОНАСС» - «Умная дорога») [20], обеспечивающий автоматизированное управление дорожным движением по трем сценариям. Рассмотрим каждый из них.

1. Минимизация количества остановок тяжелых грузовиков и их отрядов при проезде регулируемых перекрестков.

Если груженный грузовик движется по дороге к регулируемому перекрестку, то он вынужден останавливаться на красный сигнал светофора, и затем стартовать на зеленый. При этом возникают следующие негативные эффекты:

- повышенный расход топлива;
- повышенный уровень выбросов и шума;
- повышенный износ дорожной одежды;
- повышенный износ узлов автомобиля;
- снижение пропускной способности перекрестка;
- повышение вероятности возникновения ДТП.

Предлагаемое решение позволяет грузовым автомобилям проезжать перекрестки без остановок за счет запуска сценария рекомендации скорости для проезда на разрешающий сигнал светофора, минимизируя, таким образом, обозначенные негативные эффекты (рис. 5).

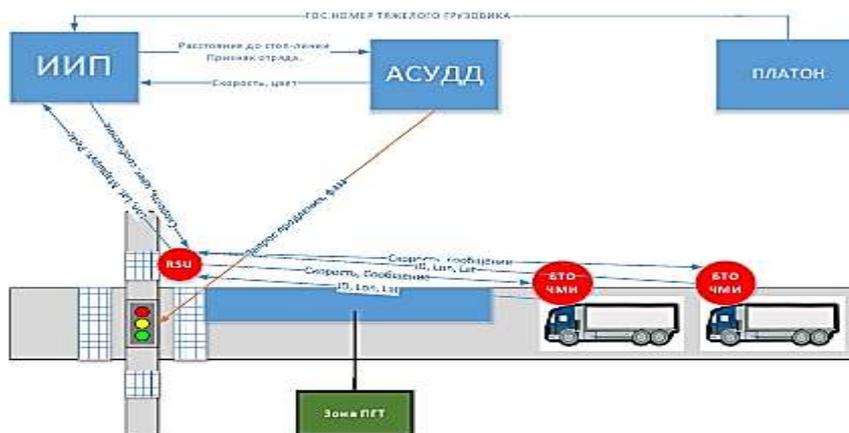


Рисунок 5 – Реализация сценария «Минимизация количества остановок тяжелых грузовиков и их отрядов при проезде регулируемых перекрестков»

2. Обеспечение приоритетного проезда для опаздывающих автобусов.

Привлекательность общественного транспорта (ОТ) растет по мере увеличения точности соблюдения расписания. В реальных условиях дорожного движения могут возникать ситуации, мешающие соблюдению расписания. В таких случаях, разработанный сценарий по предоставлению приоритетного проезда опаздывающему ОТ на регулируемом перекрестке способен помочь этому ОТ нагнать свое расписание и обеспечить своевременную доставку пассажиров в установленное время (рис. 6).

3. Обеспечение безопасного перехода регулируемых пешеходных переходов для организованных колонн пешеходов.

Данный сценарий позволяет продлевать длительность работы зеленого сигнала светофора во то время, когда организованная колонна пешеходов (например группа школьников) пересекает проезжую часть.

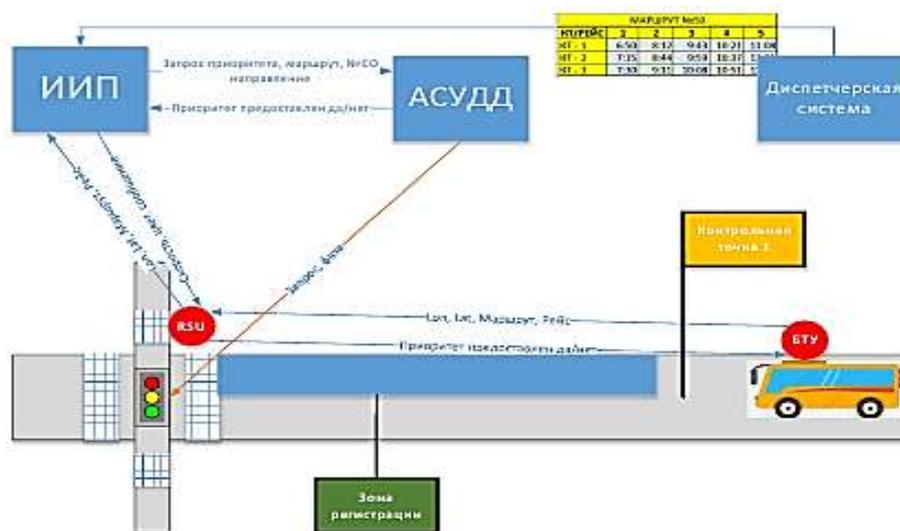


Рисунок 6 – Реализация сценария «Обеспечение приоритетного проезда для опаздывающих автобусов»

Общая архитектура Макета платформы «Автодата» для г. Курска представлена на рисунке 7.

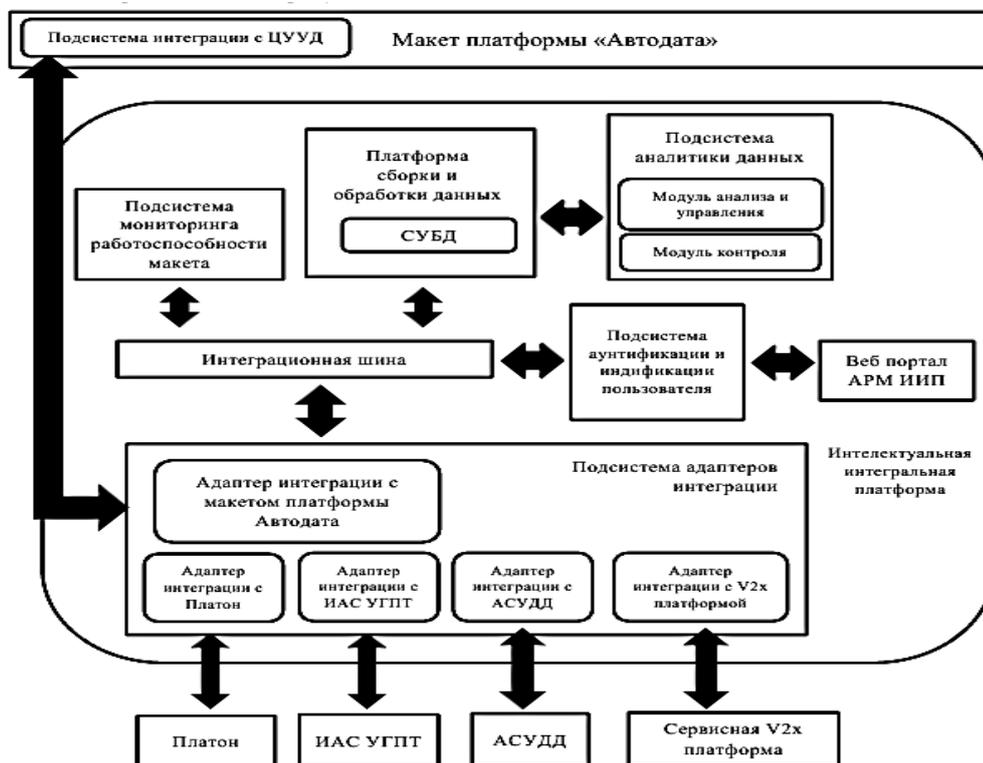


Рисунок 7 – Макет платформы «Автодата»

Дальнейшее направление данного исследования состоит в оценке эффективности использования рассмотренных выше сценариев работы Макета платформы «Автодата» на территории г. Курска с точки зрения улучшения экологических показателей на определенных участках автодорог и в районах регулируемых перекрестков.

Для оценки эффективности внедрения локальных проектов ИТС используются целевые индикаторы, архитектура которых представлена на рисунке 8.

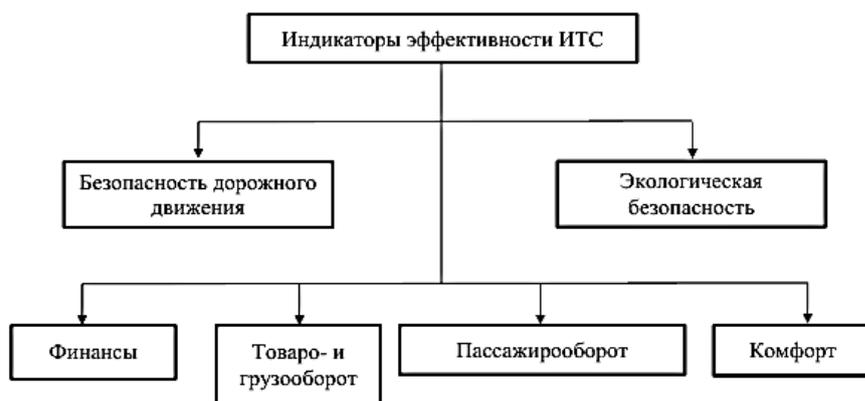


Рисунок 8 – Архитектура индикаторов эффективности ИТС

Содержание целевых индикаторов раскрывается через определенные функциональные индикаторы эффективности, рассмотренные в таблице 1.

Таблица 1 – Целевые и функциональные индикаторы эффективности ИТС

Целевые индикаторы	Функциональные индикаторы
Обеспечение безопасности дорожного движения	Количество ДТП
	Число раненных при ДТП
	Число погибших при ДТП
Обеспечение безопасности дорожного движения	Социальный риск
	Транспортный риск
	Суммарный ущерб транспортными средствами
	Суммарный ущерб объектами инфраструктуры
	Суммарный ущерб грузам
Обеспечение экологической безопасности	Объем выбросов загрязняющих веществ: CO CO <sub>2</sub> CH NO <sub>x</sub>
	Объем выбросов частиц при износе шин, тормозных накладок, элементов сцепления
	Уровень шумового загрязнения
Повышение грузооборота	Объем (количество груза)
	Эксплуатационные расходы на перевозку
	Средняя скорость движения ТС
Увеличение пассажирооборота	Количество пассажиров
	Эксплуатационные расходы на перевозку
	Средняя скорость движения ТС
Рост финансовой привлекательности	Экономический эффект от применения ЛП ИТС
	Затраты на разработку и внедрения ЛП ИТС
	Эксплуатационные расходы
Повышение комфорта пользователей	Уровень обслуживания
	Пропускная способности дороги
	Уровень загрузки движением
	Время в пути
	Надежность предоставляемой информации о времени прохождения запланированного участка пути
	Стоимость поездки
	Протяженность участков дорог, работающих в режиме перегрузки
	Увеличение мобильности пользователей (транспортная подвижность)
	Нервно – психическое напряжение, утомление пользователей в процессе поездки

### Результаты и обсуждение

В рамках данного исследования особое внимание следует уделить индикаторам обеспечения экологической безопасности. Исходя из поставленной цели исследования необходимо оценить основные экологические показатели, на которые оказывает воздействие автомобильный транспорт до и после внедрения ИТС. В качестве таких показателей нами были рассмотрены:

- массовый выброс загрязняющих веществ, содержащихся в выхлопных газах автомобилей;
- уровень шума от транспортного потока.

Помимо указанных величин, на наш взгляд, необходимо проанализировать, значения концентраций СО и NO<sub>x</sub> как основных компонентов выхлопных газов автотранспортных средств, так как именно концентрации загрязняющих веществ лежат в основе санитарно-гигиенического нормирования, применяемого в РФ.

В соответствии с нормативно утвержденными методиками, используемыми в РФ, будут проведены натурные обследования автотранспортного потока, лежащие в основе расчета массового выброса загрязняющих веществ, содержащихся в выхлопных газах автомобилей, а также исследования, направленные на измерения концентрации загрязнений, выбрасываемых автотранспортными средствами, и уровня шума от транспортного потока.

В Российской Федерации на законодательном уровне не установлены граничные (числовые) значения индикаторов, исходя из которых можно было бы сделать вывод об эффективности внедрения ИТС. В связи с этим, на наш взгляд, целесообразно разработать комплексный показатель, характеризующий социально-экологическую обстановку на участках автодорог и перекрестках, учитывающий основные целевые индикаторы обеспечения экологической безопасности:

- массовый выброс загрязняющих веществ, содержащихся в выхлопных газах автомобилей;
- уровень шума от транспортного потока;
- значения концентраций СО и NO<sub>x</sub>.

Кроме того, комплексный показатель должен учитывать удаленность участков автодорог и перекрестков от социально-значимых объектов, на которых в течение длительного времени могут находиться наиболее уязвимые для негативного воздействия неблагоприятных факторов среды группы населения. К таким объектам необходимо отнести детские сады, школы, больницы, поликлиники, дома престарелых.

### Выводы

Таким образом, комплексный показатель, характеризующий социально-экологическую обстановку на участках автодорог и перекрестках, можно представить в виде следующей формулы:

$$K = K (M_{CO}, M_{NOx}, M_{CxHy}, M_{SOx}, M_{PM}, C_{CO}, C_{NOx}, L, D), \quad (1)$$

где  $M_{CO}$  – валовый выброс оксида углерода на обследуемом участке, т/год;

$M_{NOx}$  – валовый выброс оксидов азота на обследуемом участке, т/год;

$M_{CxHy}$  – валовый выброс углеводородов на обследуемом участке, т/год;

$M_{SOx}$  – валовый выброс оксидов серы на обследуемом участке, т/год;

$M_{PM}$  – валовый выброс твердых частиц на обследуемом участке, т/год;

$C_{CO}$  – концентрация оксида углерода на обследуемом участке, г/м<sup>3</sup>;

$C_{NOx}$  – концентрация оксидов азота на обследуемом участке, г/м<sup>3</sup>;

$L$  – уровень шума от транспортного потока, дБ;

$D$  – расстояние от обследуемого участка автодороги до социально-значимого объекта, м.

Определение весовых коэффициентов для каждого индикатора, вошедшего в состав итогового показателя, возможно на основе анализа результатов экспертного опроса, который авторы планируют провести на следующем этапе исследования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сердюкова А.Ф., Барабанщиков Д.А. Влияние автотранспорта на окружающую среду // Молодой ученый. - 2018. - №25(211). - С. 31-33.

2. Скалозуб В.В., Ильман В.М. Прикладной системный анализ интеллектуальных систем транспорта: пособие. – Днепропетровск: Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2013. – 221 с.
3. Козлов Л.С. Интеллектуальные транспортные системы для повышения конкурентоспособности и рентабельности [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.gosbook.ru/node/23744>.
4. Разработка концепции создания интеллектуальной транспортной системы на автомобильных дорогах федерального значения: Отчет. – Москва: МАДИ, 2009. – 95 с.
5. Терентьев В.В. Внедрение интеллектуальных систем на автомобильном транспорте // Надежность и качество сложных систем. - 2018. – №1(21). – С. 117-122.
6. Архитектура интеллектуальных транспортных систем на примере [Электронный ресурс] / U.S. DoT ITS. – Режим доступа: <http://www.iteris.com/itsarch/index.htm>.
7. Агуреев И.Е., Митюгин В.А., Пышный В.А. Подготовка и обработка исходных данных для математического моделирования автомобильных транспортных систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – №6. – С. 119-127.
8. Пышный В. А. Разработка и использование методики прогнозирования эффективности функционирования автомобильной транспортной системы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – №5-1. – С. 23-30.
9. ОДМ 218.9.011–2016. Рекомендации по выполнению обоснования интеллектуальных транспортных систем. - Введ. 25.04.16. - М.: Изд-во стандартов, 2019. – 70 с.
10. Волков С.А., Волкова Л.Е., Пышный В.А. Экспериментальная методика измерения транспортных потоков // Наука и инновации в технических университетах: материалы X Всерос. форума студентов, аспирантов и молодых ученых. – М. - 2016. – С. 12-14.
11. Митюгин В.А., Пышный В.А. Особенности организации натурных исследований транспортных потоков с использованием средств автоматической фиксации // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. - №1. – С. 273-277.
12. Кабашкин И.В. Интеллектуальные транспортные системы: интеграция глобальных технологий будущего // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – №2(27). – С. 34-38.
13. Риа Воронеж [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.rivrn.ru>.
14. Заикин В.Ю., Лозовский Д.Н., Лозовская Н.Н. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов в деятельности ГИБДД // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. - 2020. - №4. - С. 20-25.
15. Бецков А.В. Применение аэромобильных комплексов МВД России при противодействии преступности: Учебное пособие. - М.: Академия управления МВД России, 2017. - С. 7.
16. Туманов Е.А., Назаров С.В., Тарасенков Д.А., Головкин В.Д. Возможности применения беспилотных летательных аппаратов на службе госавтоинспекции // Дневник науки. - 2019. - №12. - С. 46.
17. Информационный портал «Авантум» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.rivrn.ru/news/v-testovom-rezhime-v-voronezhe-zapustili-sistemu-umnykh-svetoforov/>.
18. Информационный портал «Автотор» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.avtodor-tr.ru>.
19. Администрация Курской области [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.adm.rkursk.ru/index.php?id=13&mat\\_id=100173](http://www.adm.rkursk.ru/index.php?id=13&mat_id=100173).
20. Информационный портал «ДорИнфо» [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.dorinfo.ru/99\\_detail.php?ELEMENT\\_ID=87177](http://www.dorinfo.ru/99_detail.php?ELEMENT_ID=87177).

**Емельянов Иван Павлович**

Юго-Западный государственный университет  
Адрес: 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94  
К.т.н., доцент, декан механико-технологического факультета  
E-mail: [yuzgu@yandex.ru](mailto:yuzgu@yandex.ru)

**Барков Алексей Николаевич**

Юго-Западный государственный университет  
Адрес: 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94  
К.т.н., доцент, доцент кафедры охраны труда и окружающей среды  
E-mail: [aleksebarkov@yandex.ru](mailto:aleksebarkov@yandex.ru)

**Кирильчук Ираида Олеговна**

Юго-Западный государственный университет  
Адрес: 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94  
К.т.н., доцент, доцент кафедры охраны труда и окружающей среды  
E-mail: [iraida585@mail.ru](mailto:iraida585@mail.ru)

**Персидская Ксения Андреевна**

Юго-Западный государственный университет  
Адрес: 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94  
Студент  
E-mail: [ksenipersi@bk.ru](mailto:ksenipersi@bk.ru)

---

I.P. EMEL'YANOV, I.O. KIRILCHUK, A.N. BARKOV, K.A. PERSIDSKAYA

**USE OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS  
TO IMPROVE ENVIRONMENTAL SAFETY  
OF ROAD TRANSPORT IN THE KURSK REGION**

**Abstract.** The presented work opens a series of articles devoted to the study of the impact of the local project of the intelligent transport system, implemented in the Kursk region, on reducing the negative impact of motor transport on the components of the environment and public health. The results of the review conducted by the authors prove the relevance of research in this area, while the main attention should be paid to the development of comprehensive measures to reduce environmental damage to the environment from the impact of motor vehicles.

**Keywords:** intelligent transport system, motor transport, environment, environmental safety, environmental safety indicators

## BIBLIOGRAPHY

1. Serdyukova A.F., Barabanshchikov D.A. Vliyanie avtotransporta na okruzhayushchuyu sredu // Molodoy uchenyy. - 2018. - №25(211). - S. 31-33.
2. Skalozub V.V., Il'man V.M. Prikladnoy sistemnyy analiz intellektual'nykh sistem transporta: posobie. - Dnepropetrovsk: Dnepropetr. nats. un-t zh.-d. transp. im. akad. V. Lazaryana, 2013. - 221 s.
3. Kozlov L.S. Intellektual'nye transportnye sistemy dlya povysheniya konkurentosposobnosti i rentabel'nosti [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.gosbook.ru/node/23744>.
4. Razrabotka kontseptsii sozdaniya intellektual'noy transportnoy sistemy na avtomobil'nykh dorogakh federal'nogo znacheniya: Otchet. - Moskva: MADI, 2009. - 95 s.
5. Terent'ev V.V. Vnedrenie intellektual'nykh sistem na avtomobil'nom transporte // Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem. - 2018. - №1(21). - S. 117-122.
6. Arkhitektura intellektual'nykh transportnykh sistem na primere [Elektronnyy resurs] / U.S. DoT ITS. - Rezhim dostupa: <http://www.iteris.com/itsarch/index.htm>.
7. Agureev I.E., Mityugin V.A., Pyshnyy V.A. Podgotovka i obrabotka iskhodnykh dannykh dlya matematicheskogo modelirovaniya avtomobil'nykh transportnykh sistem // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. - 2014. - №6. - S. 119-127.
8. Pyshnyy V. A. Razrabotka i ispol'zovanie metodiki prognozirovaniya effektivnosti funktsionirovaniya avtomobil'noy transportnoy sistemy // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. - 2015. - №5-1. - S. 23-30.
9. ODM 218.9.011-2016. Rekomendatsii po vypolneniyu obosnovaniya intellektual'nykh transportnykh sistem. - Vved. 25.04.16. - M.: Izd-vo standartov, 2019. - 70 c.
10. Volkov S.A., Volkova L.E., Pyshnyy V.A. Eksperimental'naya metodika izmereniya transportnykh potokov // Nauka i innovatsii v tekhnicheskikh universitetakh: materialy X Vseros. foruma studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. - M. - 2016. - S. 12-14.
11. Mityugin V.A., Pyshnyy V.A. Osobennosti organizatsii naturnykh issledovaniy transportnykh potokov s ispol'zovaniem sredstv avtomaticheskoy fiksatsii // Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya. - 2016. - T. 3. - №1. - S. 273-277.
12. Kabashkin I.V. Intellektual'nye transportnye sistemy: integratsiya global'nykh tekhnologiy budushchego // Transport Rossiyskoy Federatsii. - 2010. - №2(27). - S. 34-38.
13. Ria Voronezh [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.riavr.ru>.
14. Zaikin V.YU., Lozovskiy D.N., Lozovskaya N.N. Vozmozhnosti ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v deyatel'nosti GIBDD // Gumanitarnye, sotsial'no-ekonomicheskie i obshchestvennyye nauki. - 2020. - №4. - S. 20-25.
15. Betskov A.V. Primenenie aeromobil'nykh kompleksov MVD Rossii pri protivodeystvii prestupnosti: Uchebnoe posobie. - M.: Akademiya upravleniya MVD Rossii, 2017. - S. 7.
16. Tumanov E.A., Nazarov S.V., Tarasenkov D.A., Golovkin V.D. Vozmozhnosti primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov na sluzhbe gosavtoinspeksii // Dnevnik nauki. - 2019. - №12. - S. 46.
17. Informatsionnyy portal «Advantum» [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.riavr.ru/news/v-testovom-rezhime-v-voronezhe-zapustili-sistemu-umnykh-svetoforov/>.
18. Informatsionnyy portal «Avtodor» [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.avtodor-tr.ru>.
19. Administratsiya Kurskoy oblasti [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: [http://www.adm.rkursk.ru/index.php?id=13&mat\\_id=100173](http://www.adm.rkursk.ru/index.php?id=13&mat_id=100173).
20. Informatsionnyy portal «DorInfo» [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: [http://www.dorinfo.ru/99\\_detail.php?ELEMENT\\_ID=87177](http://www.dorinfo.ru/99_detail.php?ELEMENT_ID=87177).

### **Emelyanov Ivan Pavlovich**

Southwestern State University  
Address: 305040, Russia, Kursk  
Candidate of technical sciences  
E-mail: [yuzgu@yandex.ru](mailto:yuzgu@yandex.ru)

### **Kirilchuk Iraida Olegovna**

Southwestern State University  
Address: 305040, Russia, Kursk  
Candidate of technical sciences  
E-mail: [iraida585@mail.ru](mailto:iraida585@mail.ru)

### **Barkov Alexey Nikolaevich**

Southwestern State University  
Address: 305040, Russia, Kursk  
Candidate of technical sciences  
E-mail: [aleksebarokv@yandex.ru](mailto:aleksebarokv@yandex.ru)

### **Persidskaya Ksenia Andreevna**

Southwestern State University  
Address: 305040, Russia, Kursk  
Student  
E-mail: [ksenipersi@bk.ru](mailto:ksenipersi@bk.ru)

Научная статья

УДК 004.438

doi: 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-112-118

О. И. МАКСИМЫЧЕВ, К. Н. МЕЗЕНЦЕВ, А. В. ВОЛОСОВА

## ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕМЕНТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

**Аннотация.** В статье приводятся сведения по моделированию процесса формирования роя агентов, представляющих собой дроны или транспортные средства. В качестве среды моделирования используется программа имитационного мультиагентного моделирования NetLogo. Рассмотрен алгоритм формирования роя путем выделения среди агентов агента лидера, положение которого в пространстве вычисляется методами тензорного анализа и является ориентиром для агентов, включаемых в ситуативный рой. Анализ моделирования роя позволяет находить совместное решение на основе данных интеллектуальных контроллеров агентов (транспортных средств) участников дорожного движения.

**Ключевые слова:** агент, мультиагентная система, рой, конечный автомат, NetLogo, UML, тензорный анализ, интеллектуальный контроллер, методы тензорного анализа

### Введение

Мультиагентные технологии находят широкое применение в различных предметных областях [1-3]. Одно из направлений – моделирование кооперативного поведения агентов в составе определенной функциональной группы участников-агентов. Такой подход может применяться для исследования поведения агентов в составе роя [7-9]. Рой может представлять собой дроны или беспилотные транспортные средства (БТС), выполняющие некоторую общую задачу в определённый момент времени.

Моделирование процесса формирования роя и дальнейшего его поведения можно выполнить на базе различных программных средств, поддерживающих создание взаимодействующих агентов. Наиболее удачным выбором в качестве такого средства является программа и язык мультиагентного моделирования NetLogo [10].

С помощью данной программы можно моделировать поведение неограниченного числа агентов в двухмерном ограниченном или неограниченном пространстве (рис. 1). При этом имеется возможность просмотра поведения агентов в 3D режиме.

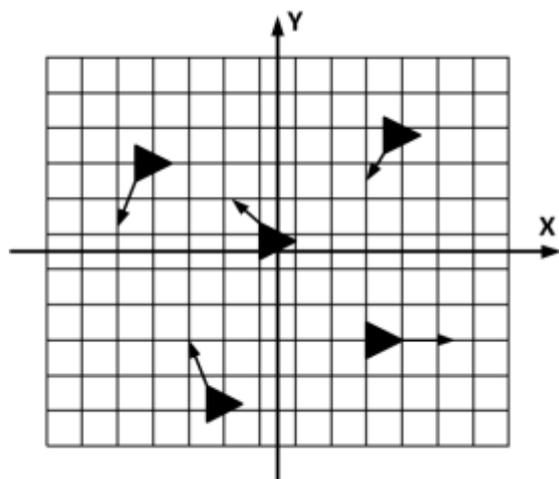


Рисунок 1 – Виртуальный мир агентов

### Материал и методы

Язык программирования и среда моделирования NetLogo позволяют построить модель, описывая поведение агентов на языке приближенном к естественному языку [10].

После составления описания выполняется компиляция созданного описания в байт код Java, который исполняет модельный процессор NetLogo. Разработчик модели не имеет прямого доступа к Java коду. Использование технологии Java обуславливает популярность данной среды моделирования при исследовании поведения мультиагентных систем, так позволяет ее использовать в среде различных операционных систем.

Рассмотрим модель формирования стаи из 50 агентов, которые произвольно расположены в виртуальном мире NetLogo. Примем базовые настройки формирования виртуального мира:

- агенты появляются в центре виртуального мира;

- агенты распределяются случайным образом из центра;
- виртуальный мир не ограничен.

Поясним последнее допущение. При отсутствии границ агенты в своем движении свободно пересекают границы и появляются с противоположной стороны виртуального мира.

Модельный процессор выбирает произвольного агента, который является инициатором формирования стаи, будем называть этого агента лидером. Остальные агенты движутся к лидеру. Когда рой сформирован, он начинает движение в виртуальном мире. Модель выполняется в дискретном режиме работы модельного процессора.

### Теория / Расчет

Примем в качестве исходной посылки, что коллективное поведение агентов будет определять поведение одного агента, выбираемого случайным образом для формирования роя агентов.

Агент обладает двумя атрибутами *lider?* и *swarm?* логического типа, которые отражают состояние агента в популяции. Первый атрибут позволяет определить агента, который является инициатором формирования роя. Второй атрибут служит для отслеживания факта вхождения агента в составе роя.

В процессе формирования роя популяция агентов проходит через определенную последовательность состояний. Данная последовательность состояний показана в виде конечного автомата UML на рисунке 2.



Рисунок 2 – Состояния модели

После формирования популяции из 50 агентов модельный процессор выбирает произвольного агента. Этот агент принимается в качестве лидера и является ориентиром для других агентов при формировании роя. Другие агенты ориентируются в виртуальном мире на лидера, изменяя угол обзора среды, который для агента определяет направление прямолинейного движения. Агент движется к лидеру и выбирает место в рое. Когда все агента распределены в рое, рой начинает движение.

Процесс выбора места агентом в рое показан на рисунке 3.

Для выбора места агент сканирует среду в радиусе *radius-see* и контролирует расстояние до лидера *dist-to-lider*. В модели положение агента в рое определяется на основе следующих правил:

- расстояние между агентом и лидером должно быть меньше значения *dist-to-lider*;
- в радиусе обзора *radius-see* не должно быть других агентов;
- если агент при поиске места вышел за границу *dist-to-lider*, он становится членом роя.

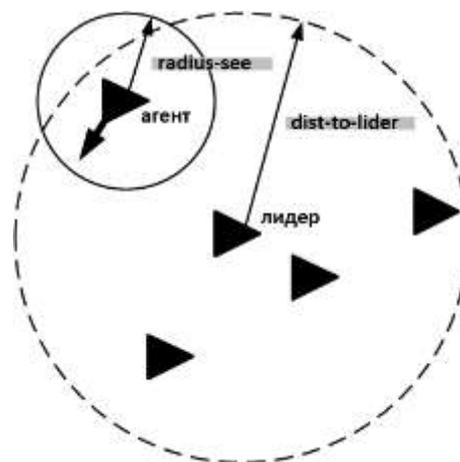


Рисунок 3 – Выбор места в рое

Состояния агента в процессе формирования роя показаны на рисунке 4.

Первое сторожевое условие – проверка вхождения в зону видимости лидера, согласно значению `dist-to-lider`. Второе сторожевое условие – контроль наличия других агентов в зоне видимости агента определяемой значением `radius-see`. Третье сторожевое условие фиксирует факт нахождения агентом места в рое. Параметр агента `swarm?` получает значение «истина».



Рисунок 4 – Состояния агента, формирование стаи

Такое поведение агента в псевдокоде примет вид, представленный на рисунке 5.

```

агенты (НЕ lider?)
начало
  если дистанция до лидера > dist-to-lider то
    начало
      движение вперед
    конец
  иначе
    начало
      ориентация агента := лидер.ориентация
      если число агентов в радиусе radius-see > 1 то
        начало
          движение вперед скорость 0.5
          если дистанция до лидера > dist-to-lider то
            начало
              swarm? := Истина
            конец
          конец
        иначе
          начало
            swarm? := Истина
          конец
        конец
      конец
    конец
конец

```

Рисунок 5 – Конечный автомат движения агентов в рое

Код NetLogo примет вид, представленный на рисунке 6.

```

ask turtles with [not lider?][
  ifelse distance ag > dist-to-lider
  [fd 1]
  [set heading [heading] of ag
  ifelse count turtles in-radius radius-see > 1
  [fd 0.5
  if distance ag > dist-to-lider [set swarm? true]]
  [set swarm? true]
]]

```

Рисунок 6 – Конечный автомат движения агентов в рое

Движение агента в рое

После формирования роя начинается движение агентов. Правила движения задает лидер. Примем следующее правило поведения лидера: на каждом сотом такте работы модельного процессора агент случайным образом поворачивается вокруг своей оси на право. Угол поворота является целым числом, которое подчиняется равномерно распределенному закону в интервале от нуля до 360. Состояния агентов показаны на рисунке 7.

В псевдокоде алгоритм движения примет вид, согласно рисунку 8.

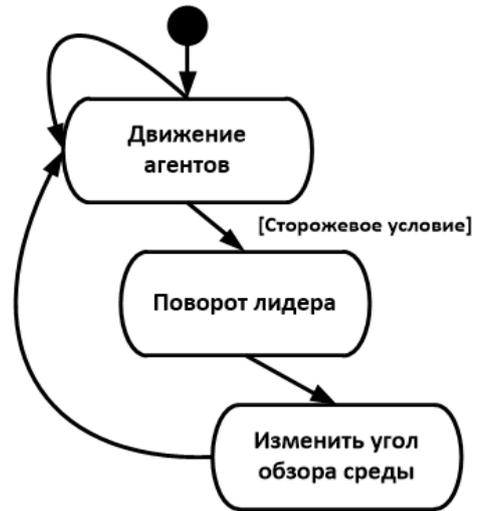


Рисунок 7 – Конечный автомат движения агентов в рое

```

агенты
начало
    движение вперед
конец
лидер
начало
    если число тиков кратно 100 то
        начало
            правый поворот случайный угол
        конец
    агенты (He lider?)
    начало
        ориентация := лидер.ориентация
    конец
конец

```

Рисунок 8 – Псевдокод алгоритма «Движение в рое»

Код NetLogo примет вид, представленный на рисунке 10.

```

ask turtles [fd 1]
ask ag [
if ticks mod 100 = 0
[rt random 360]
ask turtles with [not lider?]
[set heading [ heading ] of ag ]
]

```

Рисунок 9 – Код NetLogo для алгоритма «Движение в рое»

Тестирование модели

Модель обладает рядом глобальных переменных, позволяющих исследовать процесс формирования роя:

- watch-lider? – логическая переменная для отметки лидера в популяции агентов;
- dist-to-lider – вариативный параметр расстояния до лидера. Изменяется в диапазоне от 3 до 10 единиц с шагом равным 0,1;
- radius-see – радиус обзора агентом окружающей среды, вариативный параметр изменяется в интервале от 1 до 20 единиц с шагом равным 1.

Полученную модель формирования роя можно рассмотреть как базовую для формирования роя-стаи обладающего плановым-целевым маршрутом движения

В качестве примера можно рассмотреть ситуацию: на дороге возникло препятствие или затруднение для потока движения, ликвидация которого потребует увеличения количества времени на устранение. В результате движение по дороге ограничено и возможно возникновение затора (congestion). Необходимо предотвратить полную остановку движения на дороге.

Для решения этой задачи необходима информация:

- о количестве машин, которое может появиться на дороге;
- о динамике изменения количества машин на дороге;
- о динамике затора, который может образоваться в результате появления новых машин и т.п.

Тензорные уравнения [1, 2] позволяют:

- построить модель системы и рассчитать значения параметров каждой из них на основе данных о реальной системе [8-11];
- выполнить анализ модели, например, в Matlab;
- построить прогноз, на основании которого можно принять решение.

### **Результаты и обсуждение**

Подводя итоги, можно отметить:

1. Неопределенность, возникающую в системах, можно разделить на 4 типа:

- достаточно ясное будущее;
- альтернативное будущее;
- альтернативное будущее с ранжированием;
- неизвестное будущее.

Такое деление позволяет повысить качество обработки неопределенности.

2. Для сложных систем управления характерно проявление неопределенности на следующих уровнях:

- уровень обработки входных сигналов;
- уровень формирования сигналов на выходах контроллера;
- decision-making at the smart-controller level;
- decision-making at the control system level.

3. Для обработки 1-3 типов неопределенности может быть использован аппарат fuzzy sets.

К сложным системам управления может быть применен метод тензорного анализа систем [12, 13]. Полученные тензорные уравнения [7] позволяют обрабатывать глубокую неопределенность, возникающую в результате транспортного движения.

Полученные данные позволяют принимать решения о формировании роя маршрута движения на основе технологии электронной сцепки БТС.

### **Выводы**

Моделирование роя сделало возможным интегрировать полученные решения формирования роя в системное управление транспортными потоками в условиях, формируемыми транспортной инфраструктурой. Системам автоматического управления автономных машин, на основе физических моделей, посвящены работы [14-20] демонстрирующие направления разработок. В рамках принятых парадигм формирования роя можно сделать следующие выводы:

- предложенный алгоритм формирования роя позволяет упорядочить агентов в виде «облака», которое располагается с учётом ориентации и команд-поправок агента лидера;
- при минимальном значении радиуса сканирования среды агентом, поступающим в рой часть агентов группируются около лидера согласно правилам функционирования транспортной инфраструктуры;
- при уменьшении расстояния до лидера в процессе формирования роя, «облако» агентов сжимается вдоль оси ориентации агента лидера;

- программа и язык моделирования NetLogo позволяют построить наглядную модель формирования агентами роя. При этом поведение агентов описывается кодом минимального объема на языке приближенном к естественному языку;

- применение нечёткой логики и тензорных уравнений [4-7] позволяют принимать решения в условиях глубокой неопределенности на основе информационного взаимодействия интеллектуальных контроллеров дорожно-строительных, землеройно-транспортных машин, платформ автотранспорта и БТС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maksimychев O.I., Volosova A.V., Mezentsev K.N., Yakubovich A.N. and Ostroukh A.V. The use intelligent electronic hitch for vehicle management // 2021 Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex (TIRVED). – 2021 – P. 1-7.
2. Волосова А.В. Технологии искусственного интеллекта в системах ULS. – СПб: Лань, 2021. – 315 с.
3. Талейб Нассим Николас. Черный лебедь: под знаком непредсказуемости. – М.: КоЛибри, 2020. – 736 с.
4. Максимычев О.И., Васильковский А. М. Новые направления в автоматизации технологий дорожного строительства // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2012. – №3(30). – С. 53а-57.
5. Максимычев О.И., Бойков В.Н. Поддержка жизненного цикла проектов дорожно-строительных работ в парадигме цифровой экономики // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2019. – №1(12). – С. 10-15.
6. Parent M. Advanced urban transport: automation is on the way // IEEE Intelligent Systems. – 2007. – Vol. 22 (2). – P. 9-11.
7. Maksimychев O.I., Volosova A.V., Ostroukh A.V., Ismoilov M.I., Mezentsev K.N. Uncertainty processing by tensor algebra means in conditions of movement along complex roads // Department of ACS Moscow automobile and highway state technical university (MADI). - 2022.
8. Maksimychев O.I., Sergeeva D.A. Tools for information and control systems for road construction automation support // Automation and control in technical systems. – 2017. - №2(23). - P. 13.
9. Lees M., Logan B., Theodoropoulos G.K. Agents, games and HLA // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2006. – Vol. 14 (6) – P. 752-767.
10. Garcia A., Kulesza U., Lucena C. Aspectizing multi-agent systems: from architecture to implementation // Lecture Notes in Computer Science 3390. – 2004. – P. 121-143.
11. Yakubovich A.N., Yakubovich I.A., Trofimenko Yu.V., Shashina E.V. Intelligent management system of the automobile road's technical and operational condition in the cryolithozone // Proceedings systems of signals generating and processing in the field of on board communications, SOSG. – 2019. – DOI:10.1109/SOSG.2019.8706742.
12. Yang J., Jaillet P., Mahmassani H., Real-time multivehicle truckload pickup and delivery problems // Transportation Science. – 2004. – Vol. 8(2). – P. 135-148.
13. Moujahed S., Simonin O., Koukam A., Ghedira K.A reactive agent based approach to facility location: application to transport // 4th Workshop on agents in traffic and transportation (ATT'06). – 2006. – P. 63-69.
14. Andreas Wurm, Dieter Bestle. Robust design optimization for improving automotive shift quality // Optimization and Engineering. – 2015. – Vol. 17. – P. 421-436.
15. Chengqiang Yin, Qun Sun, Jian Wu, Chengqiang Liu, Jie Gao Development of electrohydraulic steering control system for tractor automatic navigation // Journal of electrical and computer engineering. – 2018. – Vol. 1. – P. 1-7.
16. Xingyong Song, Zongxuan Sun. Pressure-based clutch control for automotive transmissions using a sliding-mode controller // IEEE/ASME Transactions on mechatronics. – 2011. – Vol. 17(3). – P. 534-546.
17. Heng Zhang, Xinxin Zhao, Jianning Sun. Optimal clutch pressure control in shifting process of automatic transmission for heavy-duty mining trucks // Mathematical problems in engineering. – 2020. – P. 9.
18. Mohammad Mehdi Fateh, Seyed SinaAlavi. Impedance control of an active suspension system // Mechatronics. – 2009. – Vol. 19(1). – P. 134-140.
19. Jorge Villagra, Blas Vinagre, Inés Tejado. Data-driven fractional PID control: application to DC motors in flexible joints // IFAC Proceedings Volumes. – 2020. – Vol. 45(3). – P. 709-714.
20. Silva G.J., Datta A., Bhattacharyya S.P. New results on the synthesis of PID controllers // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2022. – Vol. 47(2). – P. 241-252.

### **Олег Игоревич Максимычев**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Автоматизированные системы управления

E-mail: maksimychев@yandex.ru

### **Константин Николаевич Мезенцев**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

К.т.н., доцент кафедры Автоматизированные системы управления, E-mail: kafedra@asu.madi.ru

### **Александра Владимировна Волосова**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

К.т.н., доцент кафедры Автоматизированные системы управления, E-mail: volosova\_av@asu.madi.ru

## INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

**Abstract.** The article conducts information on modeling the process of forming a flock of agents representing drones or vehicles. As a modeling environment, the NetLogo simulation program is used. An algorithm for the formation of a pack is considered by allocating an agent of a leader among agents, the position of which in space is a guideline for agents included in the flock. The process of the formation of the flock is shown using the final UML machines.

**Keywords:** agent, multi-agent system, flock, final machine, NetLogo, UML

### BIBLIOGRAPHY

1. Maksimych O.I., Volosova A.V., Mezentsev K.N., Yakubovich A.N. and Ostroukh A.V. The use intelligent electronic hitch for vehicle management // 2021 Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex (TIRVED). - 2021 - R. 1-7.
2. Volosova A.V. Tekhnologii iskusstvennogo intellekta v sistemakh ULS. - SPb: Lan, 2021. - 315 s.
3. Taleb Nassim Nikolas. Chernyy lebed': pod znakom nepredskazuemosti. - M.: KoLibri, 2020. - 736 s.
4. Maksimych O.I., Vas'kovskiy A. M. Novye napravleniya v avtomatizatsii tekhnologiy dorozhnogo stroitel'stva // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). - 2012. - №3(30). - S. 53a-57.
5. Maksimych O.I., Boykov V.N. Podderzhka zhiznennogo tsikla proektov dorozhno-stroitel'nykh rabot v paradigme tsifrovoy ekonomiki // SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog. - 2019. - №1(12). - S. 10-15.
6. Parent M. Advanced urban transport: automation is on the way // IEEE Intelligent Systems. - 2007. - Vol. 22 (2). - P. 9-11.
7. Maksimych O.I., Volosova A.V., Ostroukh A.V., Ismoilov M.I., Mezentsev K.N. Uncertainty processing by tensor algebra means in conditions of movement along complex roads // Department of ACS Moscow automobile and highway state technical university (MADI). - 2022.
8. Maksimych O.I., Sergeeva D.A. Tools for information and control systems for road construction automation support // Automation and control in technical systems. - 2017. - №2(23). - P. 13.
9. Lees M., Logan B., Theodoropoulos G.K. Agents, games and HLA // Simulation Modelling Practice and Theory. - 2006. - Vol. 14 (6) - P. 752-767.
10. Garcia A., Kulesza U., Lucena C. Aspectizing multi-agent systems: from architecture to implementation // Lecture Notes in Computer Science 3390. - 2004. - P. 121-143.
11. Yakubovich A.N., Yakubovich I.A., Trofimenko Yu.V., Shashina E.V. Intelligent management system of the automobile road's technical and operational condition in the cryolithozone // Proceedings systems of signals generating and processing in the field of on board communications, SOSG. - 2019. - DOI:10.1109/SOSG.2019.8706742.
12. Yang J., Jaillet P., Mahmassani H., Real-time multivehicle truckload pickup and delivery problems // Transportation Science. - 2004. - Vol. 8(2). - P. 135-148.
13. Moujahed S., Simonin O., Koukam A., Ghedira K.A reactive agent based approach to facility location: application to transport // 4th Workshop on agents in traffic and transportation (ATT'06). - 2006. - P. 63-69.
14. Andreas Wurm, Dieter Bestle. Robust design optimization for improving automotive shift quality // Optimization and Engineering. - 2015. - Vol. 17. - P. 421-436.
15. Chengqiang Yin, Qun Sun, Jian Wu, Chengqiang Liu, Jie Gao Development of electrohydraulic steering control system for tractor automatic navigation // Journal of electrical and computer engineering. - 2018. - Vol. 1. - P. 1-7.
16. Xingyong Song, Zongxuan Sun. Pressure-based clutch control for automotive transmissions using a sliding-mode controller // IEEE/ASME Transactions on mechatronics. - 2011. - Vol. 17(3). - P. 534-546.
17. Heng Zhang, Xinxin Zhao, Jianning Sun. Optimal clutch pressure control in shifting process of automatic transmission for heavy-duty mining trucks // Mathematical problems in engineering. - 2020. - P. 9.
18. Mohammad Mehdi Fateh, Seyed SinaAlavi. Impedance control of an active suspension system // Mechatronics. - 2009. - Vol. 19(1). - P. 134-140.
19. Jorge Villagra, Blas Vinagre, Inos Tejado. Data-driven fractional PID control: application to DC motors in flexible joints // IFAC Proceedings Volumes. - 2020. - Vol. 45(3). - P. 709-714.
20. Silva G.J., Datta A., Bhattacharyya S.P. New results on the synthesis of PID controllers // IEEE Transactions on Automatic Control. - 2022. - Vol. 47(2). - P. 241-252.

#### Oleg Igorevich Maksimych

Moscow Automobile and Road Construction  
State Technical University  
Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave., 64  
Doctor of technical sciences, E-mail: maksimych@yandex.ru

#### Konstantin Nikolaevich Mezentsev

Moscow Automobile and Road Construction  
State Technical University  
Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave., 64  
Candidate of technical sciences, E-mail: kafedra@asu.madi.ru

#### Alexandra Vladimirovna Volosova

Moscow Automobile and Road Construction  
State Technical University  
Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave., 64  
Candidate of technical sciences  
E-mail: volosova\_av@asu.madi.ru

Научная статья

УДК 656

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-119-124

А.Г. МАТВЕЕВ, Т.А. МЕНУХОВА

## ПОДХОД ПО УЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

***Аннотация.** В процессе принятия управленческих решений в целях повышения эффективности предприятий, лица, принимающие такие решения, часто прибегают к оценке различных условий, оборудования, маршрутов, стратегий развития и т.п. с применением методов выбора альтернатив в условиях неопределенности. В данной статье предлагается подход, альтернативный существующему, применимый ко многим существующим методам принятия решений, способный учитывать параметры с фиксированными эталонными значениями и эталонными значениями минимума. Алгоритм предложенного подхода продемонстрирован на примере выбора автотранспортного средства.*

***Ключевые слова:** методы принятия решений, учет параметров, критерии выбора, выбор АТС, выбор маршрутов, эталонные значения*

### **Введение**

В логистике имеется ряд задач, когда требуется определить оптимальный подход, обладая ограниченным начальным набором параметров. Выбор из нескольких похожих вариантов может быть неоднозначным до момента применения методов для принятия решения [1-3].

Что касается транспорта, на данный момент существует немало методов выбора подвижного состава или маршрута из ряда предложенных, такие как простая процедура выбора, простая процедура выбора с весами, метод ранжирования показателей, методы Лапласа, Вальда, Сэвиджа, Гурвица, Фишберна, выбор автотранспортных средств (АТС) по результатам расчета эксплуатационных затрат и другие [4-8].

### **Материал и методы**

Большинство приведенных методов начинаются с выбора сравниваемых параметров ряда объектов и последующим их приведением к эталонным значениям. Как правило, для сравнения выбирают показатели, отличающиеся своей экстенсивной природой, т.е. имеющие положительный эффект при увеличении объема. К таким критериям можно отнести производительность, срок службы или экологическую норму (например, Евро-2, Евро-5 и т.д.) [9-12]. Однако остается довольно большое количество показателей с фиксированным или минимальным эталонными значениями. В свою очередь, к ним можно отнести цену, расход топлива и стоимость ремонта [13-16].

Сейчас основные способы принятия решений больше ориентированы на поиск лучших вариантов по максимальным значениям [17-19]. Однако, как было обозначено выше, далеко не все параметры основываются на такой концепции [20]. При использовании стандартного решения будут присутствовать большие ограничения по критериям выбора. Поэтому был разработан альтернативный подход с возможностью рассмотрения любого параметра в общем сравнении.

### **Теория**

В случае с минимальными или фиксированными эталонными значениями, при отношении  $p_i$  параметра (текущего) к эталону  $n_j$ , может получиться коэффициент больше единицы, что даст в дальнейшем неверный результат сравнения. Чтобы не допустить такого, при условии, что  $n_j < p_i$ , относительный параметр находят отношением  $n_j/p_i$ . Данное правило, в отличие от параметра  $n = \max$ , не дает в полной мере качественной оценки через относительный параметр оцениваемых объектов. Так, например, если рассматривается расход топлива, и у первого автомобиля он составляет 1 у.е., а у второго – 3 у.е., то очевидным становится факт, что первый автомобиль экономичнее. Если же будут рассматриваться одновременно большее количество автомобилей, а набор сравнимых параметров расширится, что невозможно будет одно-

значно выбрать лучший вариант, придется прибегнуть к одному из методов выбора. Первоначально будут рассчитаны относительные величины. Так, при рассмотрении только двух автомобилей, эталонное значение у параметра расхода топлива будет составлять 1 у.е., так как это меньший показатель из имеющихся. Применяя стандартный способ расчета, относительная величина показателя у первого автомобиля окажется  $1/1=1$ , а для второго автомобиля коэффициент будет рассчитываться как  $n_j/p_i$ , т.е.  $1/3=0,33$ . В зависимости от применяемого метода по принятию решений, полученные относительные показатели претерпевают ряд трансформаций, что в дальнейшем дает основание для выбора определенного объекта. Так, например, один из самых распространенных методов, априорное ранжирование, определяет относительные показатели со степенью важности каждого параметра в условиях рассматриваемой задачи. Далее показатели каждого объекта суммируются и лучшим признается тот, у которого сумма относительных показателей наибольшая. Многие методы сравнения основаны на выборе по итоговой сумме показателей, разница только в промежуточных вычислениях с относительными показателями. В таком случае можно утверждать следующее: любое положительное значение относительного показателя неизменно представляет собой выражение положительного эффекта с экстенсивной природой по определению. Как уже было сказано, подобное справедливо для показателей с концепцией «чем больше, тем лучше». Однако, например, параметр расхода топлива к ним не относится. И если в приведенном сравнении между двумя абсолютными значениями приоритет очевидно отдается меньшему абсолютному и большему относительному показателю, тем самым определяя победителя, то при более широком сравнении это может стать неочевидным, а положительный эффект в виде относительного показателя, равного 0,33, может ввести в заблуждение при итоговом сравнении.

Альтернативой, когда применяется отношение  $n_j/p_i$  может стать следующее правило.

В случае, когда имеются и минимальные эталонные значения, и эталонные фиксированные значения, предусмотрим правило, что при превышении относительного показателя в 100 %, разница между 1 и полученным относительным значением будет браться как отрицательное число:

$$1 - (p_i/n_j), \text{ при } p_i > n_j,$$

где  $p_i$  – значение текущего рассматриваемого параметра;

$n_j$  – выбранное эталонное значение.

Полученные отрицательные относительные показатели показывают сопутствующий негативный эффект при реализации данного варианта. В таком случае, при итоговом суммировании относительных показателей также будет учтен суммарный негативный эффект от всех рассматриваемых параметров. Так, например, рассматриваемый случай с двумя автомобилями дал бы относительные показатели не 1 и 0,33, а 1 и -2 соответственно. Если бы у нас было больше параметров, приобретённый негативный эффект по показателю расхода топлива внес бы свои изменения в итоговую оценку и позволил бы более объективно отобрать имеющиеся варианты и определить их соответствующий рейтинг.

### **Расчет**

В качестве наглядного примера рассмотрим задачу выбора подвижного состава. Предварительно было отобрано пять автомобилей с соответствующими характеристиками и указанными эталонными значениями (табл. 1).

Как видно, имеются в качестве эталонных значений как максимум, так и минимум. Сначала рассмотрим стандартный алгоритм и выберем подвижной состав методом априорного ранжирования (табл. 2).

По итогу сравнения с использованием стандартного алгоритма, лидером стал DAF - LF 55.250 Pritsche. Рассмотрим предложенное правило с использованием того же метода и присвоенных рангов (табл. 3).

Таблица 1 – Абсолютные показатели АТС

Показатели, ед. изм.	Scania P 280	DAF CF 65 250	DAF - LF 55.250 Pritsche	Scania P 250	MAN TGM 18.340	Эталонное значение
Цена, руб	1656852	1331324	726177	3422213	1043357	<i>min</i>
Грузоподъемность, т	9	13	5	15	11	<i>max</i>
Год выпуска	2013	2013	2010	2014	2014	<i>max</i>
Погрузочная длина, м	7,45	7,3	7,3	9,6	6	<i>max</i>
Евро норма	Euro 5	Euro 5	Euro 5	Euro 6	Euro 6	<i>max</i>
Мощность двигателя, л.с.	280	250	250	250	341	<i>min</i>
Расход топлива, л/100 км	25	18	17	24,5	19	<i>min</i>

Таблица 2 – Приоритет выбора АТС по априорному ранжированию, стандартное правило

Показатели, ед. изм.	Scania P 280	DAF CF 65 250	DAF - LF 55.250 Pritsche	Scania P 250	MAN TGM 18.340	Ранг
Цена	0,43829	0,54545	1,00000	0,21220	0,69600	1
Год выпуска	0,49975	0,49975	0,49901	0,50000	0,50000	2
Грузоподъемность	0,20000	0,28889	0,11111	0,33333	0,24444	3
Погрузочная длина	0,19401	0,19010	0,19010	0,25000	0,15625	4
Расход топлива	0,13600	0,18889	0,20000	0,13878	0,17895	5
Мощность двигателя	0,14881	0,16667	0,16667	0,16667	0,12219	6
Евро норма	0,11905	0,11905	0,11905	0,14286	0,14286	7
Итого	1,73591	1,99880	2,28594	1,74383	2,04069	
Приоритет выбора	5	3	1	4	2	

Таблица 3 – Приоритет выбора АТС по априорному ранжированию, авторское правило

Показатели, ед. изм.	Scania P 280	DAF CF 65 250	DAF - LF 55.250 Pritsche	Scania P 250	MAN TGM 18.340	Ранг
Цена	-1,28161	-0,83333	1,00000	-3,71264	-0,43678	1
Год выпуска	0,49975	0,49975	0,49901	0,50000	0,50000	2
Грузоподъемность	0,20000	0,28889	0,11111	0,33333	0,24444	3
Погрузочная длина	0,19401	0,19010	0,19010	0,25000	0,15625	4
Расход топлива	-0,09412	-0,01176	0,20000	-0,08824	-0,02353	5
Мощность двигателя	-0,02000	0,16667	0,16667	0,16667	-0,06067	6
Евро норма	0,11905	0,11905	0,11905	0,14286	0,14286	7
Итого	-0,38292	0,41936	2,28594	-2,40802	0,52257	
Приоритет выбора	4	3	1	5	2	

Как и следовало ожидать, первое место в приоритете выбора также присвоено DAF - LF 55.250 Pritsche. Однако выявленный в относительных показателях отрицательный эффект рассматриваемого параметра изменил итоговые значения остальных сравниваемых АТС, соответственно поменялся приоритет выбора.

Учитывая, что предложенный алгоритм тяготеет к концепции пессимизма в теории выбора, лучше всего рассмотреть данный пример с использованием метода Сэвиджа (табл. 4).

Таблица 4 – Приоритет выбора АТС по методу Сэвиджа ранжированию, стандартное правило

Показатели, ед. изм.	Scania P 280	DAF CF 65 250	DAF - LF 55.250 Pritsche	Scania P 250	MAN TGM 18.340
Цена	0,56171	0,45455	0,00000	0,78780	0,30400
Год выпуска	0,00050	0,00050	0,00199	0,00000	0,00000
Грузоподъемность	0,40000	0,13333	0,66667	0,00000	0,26667
Погрузочная длина	0,22396	0,23958	0,23958	0,00000	0,37500
Расход топлива	0,32000	0,05556	0,00000	0,30612	0,10526
Мощность двигателя	0,10714	0,00000	0,00000	0,00000	0,26686
Евронорма	0,16667	0,16667	0,16667	0,00000	0,00000
Итого	0,56171	0,45455	0,66667	0,78780	0,37500
Приоритет выбора	3	2	4	5	1

Таблица 5 – Приоритет выбора АТС по методу Сэвиджа ранжированию, авторское правило

Показатели, ед. изм.	Scania P 280	DAF CF 65 250	DAF - LF 55.250 Pritsche	Scania P 250	MAN TGM 18.340
Цена	2,28161	1,83333	0,00000	4,71264	1,43678
Год выпуска	0,00050	0,00050	0,00199	0,00000	0,00000
Грузоподъемность	0,40000	0,13333	0,66667	0,00000	0,26667
Погрузочная длина	0,22396	0,23958	0,23958	0,00000	0,37500
Расход топлива	1,47059	1,05882	0,00000	1,44118	1,11765
Мощность двигателя	1,12000	0,00000	0,00000	0,00000	1,36400
Евронорма	0,16667	0,16667	0,16667	0,00000	0,00000
Итого	2,28161	1,83333	0,66667	4,71264	1,43678
Приоритет выбора	4	3	1	5	2

### **Результаты**

Как следует из таблицы, метод Сэвиджа совместно с авторским подходом дал такой же приоритет, как и при априорном ранжировании. В случае с использованием метода Сэвиджа и стандартного правила предпочитаемый DAF - LF 55.250 Pritsche оказался на последнем месте. Это связано как раз с тем, что неучтенный отрицательный эффект интенсивных показателей дал ложный приоритет выбора.

### **Обсуждение**

Особенное значение рассматриваемый метод имеет для дальнейшей достоверности результатов выбора с использованием критериев с фиксированными или минимальными эталонными значениями в методах крайнего пессимизма, например, Сэвиджа или Вальда. Так, стандартное правило, вместо того чтобы показать реальную величину разницы выгодности показателей, демонстрирует ближайшее отклонение относительной величины. То есть, при рассмотрении метода Сэвиджа, «классическое» правило в матрице сожалений дает потери, как если бы был не профицит, а дефицит рассматриваемого параметра относительно эталонного. При таком подходе происходит одновременно два парадокса:

- 1) если существует дефицит параметра объекта при рассмотрении его относительно эталонного значения минимума среди всех остальных объектов этого параметра, то как рассматриваемый эталон может быть минимумом, если существует параметр меньше его;
- 2) параметр, имеющий профицит в абсолютном эквиваленте, который представляет негативный эффект, нивелируется в относительном сравнении и приобретает исключительно

положительный эффект, т.е. параметр переходит из класса интенсивных в класс экстенсивных, тем самым переводя избыток в нереализованный потенциал, как если бы энергия или материя не уничтожалась и превращалась в отсутствие энергии или материи, а коллапсировалась с итоговым отрицательным эквивалентным значением энергии или материи.

### **Вывод**

Таким образом, рассмотренный алгоритм является универсальным для построения матриц относительных параметров с использованием параметров с фиксированными и минимальными эталонными значениями. В особенности он может быть полезным при использовании методов крайнего пессимизма, где необходимо рассматривать потенциальные потери.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Баязитов Р.Б., Фасхиев Х.А. Многокритериальная оценка подвижного состава автомобильного транспорта с целью выбора // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства. – 2021. – С. 42-47.
2. Пуляев Н.Н., Шартыков Х.С. Обоснование выбора автотракторных средств по критерию решаемых задач // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий. – 2021. – С. 465-470.
3. Тебекин А.В., Тебекин П.А. Методы принятия управленческих решений на основе оптимизации показателей эффективности с использованием гибридных игр // Журнал исследований по управлению. – 2019. – Т. 5. – №2. – С. 34-47.
4. Ивлиев Т.А. Принятие решений в условиях риска и неопределенности // Конкурентоспособность территорий. – 2022. – С. 146-148.
5. Кодолитч А.С. Совершенствование методики выбора подвижного состава для инвестирования // Молодежь и научно-технический прогресс. – 2021. – С. 110-113.
6. Пономарев Н.А. К вопросу выбора подвижного состава для перевозок пассажиров в областном сообщении // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных. – 2021. – С. 98-101.
7. Ярушкина Н.А. Оптимизация выбора транспортной компании на примере перевозки сельскохозяйственного оборудования // Теория и практика современной аграрной науки. – 2022. – С. 1846-1849.
8. Егошин С.Ф. Влияние особенностей моделирования пассажирских потоков на выбор оптимального воздушного судна местных воздушных линий // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2021. – №35. – С. 68-79.
9. Афанасьев А.С. Техническая диагностика на транспорте. – СПб.: Свое издательство, 2018. – 108 с.
10. Лях М.А., Афанасьев А.С. Выбор факторов, влияющих на техническое состояние пневматической системы подвижного состава на автотранспортном предприятии // Вопросы устойчивого развития общества. – 2021. – №5. – С. 490-499.
11. Гогричиани Г.В., Ляшенко А.Н. Выбор лучших решений при мультимодальных перевозках нефти // Транспортные системы и технологии, 2021. – Т. 7. – №2. – С. 76-86.
12. Линсю Л. Выбор маршрута транзита товаров из КНР в Европу через территорию РФ: выпускная квалификационная работа бакалавра: направление 38.03. 02 «Менеджмент»; образовательная программа 38.03. 02\_09 «Международная логистика». – 2021.
13. Менухова Т.А. Временные критерии для выбора схемы доставки груза // Транспортное дело России. – 2017. – №1. – С. 108-110.
14. Ерёмин С.В. и др. Проблемы принятия управленческих решений в условиях неопределённости // Инновационные научные исследования, 2021. – №5-2. – С. 146-157.
15. Полтавская Ю.О. Основные факторы, влияющие на выбор способа транспортировки // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2021. – Т. 8. – С. 191-192.
16. Степашкина А.С. и др. Обоснование выбора оптимального маршрута транспортировки зерна при внутрихозяйственных перевозках // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14. – №1. – С. 141-149.
17. Надкарни Р.Р., Путувайи Б. Всесторонний обзор литературы по многокритериальным методам принятия решений в исторических зданиях // Журнал строительной инженерии. – 2020. – Т. 32. – С. 101814.
18. Tran Thi Hoang G., Dupont L., Camargo M. Application of decision-making methods in smart city projects: a systematic literature review // Smart Cities. – 2019. – Т. 2. – №3. – С. 433-452.
19. Kou G. et al. Evaluation of feature selection methods for text classification with small datasets using multiple criteria decision-making methods // Applied Soft Computing. – 2020. – Т. 86. – С. 105836.
20. Liao H., Mi X., Xu Z. A survey of decision-making methods with probabilistic linguistic information: bibliometrics, preliminaries, methodologies, applications and future directions // Fuzzy Optimization and Decision Making. – 2020. – Т. 19. – №1. – С. 81-134.

### **Матвеев Александр Григорьевич**

Санкт-Петербургский горный университет  
Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург,  
Васильевский остров, 21 линия, 2  
Студент  
E-mail: alexzandermatveev@yandex.ru

### **Менухова Татьяна Анатольевна**

Санкт-Петербургский горный университет  
Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург,  
Васильевский остров, 21 линия, 2  
К.т.н., доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин  
E-mail: men-ta@yandex.ru

## APPROACH TO ACCOUNTING PARAMETERS, APPLYING METHODS OF CHOICE FOR UNCERTAIN ALTERNATIVES

**Abstract.** *In the process of making management decisions in order to improve the efficiency of enterprises, decision makers often resort to evaluating various conditions, equipment, routes, development strategies, etc. using methods for choosing alternatives under conditions of uncertainty. This article proposes an alternative approach to the existing one, applicable to many existing decision methods, capable of taking into account parameters with fixed reference values and minimum reference values. The algorithm of the proposed approach is demonstrated on the example of the choice of a vehicle.*

**Keywords:** *decision-making methods, parameter accounting, criteria selection, vehicle selection, route selection, reference values*

### BIBLIOGRAPHY

1. Bayazitov R.B., Faskhiev H.A. *Mnogokriterial'naya otsenka podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta s tsel'yu vybora // Avtomobilstroenie: proektirovanie, konstruirovaniye, raschet i tekhnologii remonta i proizvodstva.* - 2021. - S. 42-47.
2. Pulyaev N.N., Shartykov H.S. *Obosnovaniye vybora avtotraktornykh sredstv po kriteriyu reshaemykh zadach // Rol' agrarnoy nauki v ustoychivom razvitii sel'skikh territoriy.* - 2021. - S. 465-470.
3. Tebekin A.V., Tebekin P.A. *Metody prinyatiya upravlencheskikh resheniy na osnove optimizatsii pokazateley effektivnosti s ispol'zovaniem gibridnykh igr // Zhurnal issledovaniy po upravleniyu.* - 2019. - T. 5. - №2. - S. 34-47.
4. Ivliev T.A. *Prinyatie resheniy v usloviyakh riska i neopredelennosti // Konkurentosposobnost' territoriy.* - 2022. - S. 146-148.
5. Kodolich A.S. *Sovershenstvovaniye metodiki vybora podvizhnogo sostava dlya investirovaniya // Molodezh' i nauchno-tekhnicheskii progress.* - 2021. - S. 110-113.
6. Ponomarev N.A. *K voprosu vybora podvizhnogo sostava dlya perevozk passazhirov v oblastnom soobshchenii // Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya molodykh uchionykh.* - 2021. - S. 98-101.
7. Yarushkina N.A. *Optimizatsiya vybora transportnoy kompanii na primere perevozki sel'skokhozyaystvennogo oborudovaniya // Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki.* - 2022. - S. 1846-1849.
8. Egoshin S.F. *Vliyaniye osobennostey modelirovaniya passazhirskikh potokov na vybor optimal'nogo vozdušnogo sudna mestnykh vozdushnykh liniy // Nauchnyy vestnik GosNII GA.* - 2021. - №35. - S. 68-79.
9. Afanas'ev A.S. *Tekhnicheskaya diagnostika na transporte.* - SPb.: Svoe izdatel'stvo, 2018. - 108 s.
10. Lyakh M.A., Afanas'ev A.S. *Vybor faktorov, vliyayushchikh na tekhnicheskoye sostoyaniye pnevmaticheskoy sistemy podvizhnogo sostava na avtotransportnom predpriyatii // Voprosy ustoychivogo razvitiya obshchestva.* - 2021. - №5. - S. 490-499.
11. Gogrichiani G.V., Lyashenko A.N. *Vybor luchshikh resheniy pri mul'timodal'nykh perevozkakh nefi // Transportnye sistemy i tekhnologii,* 2021. - T. 7. - №2. - S. 76-86.
12. Linsyu L. *Vybor marshruta tranzita tovarov iz KNR v Evropu cherez territoriyu RF: vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota bakalavra: napravleniye 38.03. 02 «Menedzhment»; obrazovatel'naya programma 38.03. 02\_09 «Mezhdunarodnaya logistika».* - 2021.
13. Menukhova T.A. *Vremennyye kriterii dlya vybora skhemy dostavki gruzha // Transportnoye delo Rossii.* - 2017. - №1. - S. 108-110.
14. Eriomin S.V. i dr. *Problemy prinyatiya upravlencheskikh resheniy v usloviyakh neopredelionnosti // Innovatsionnye nauchnye issledovaniya,* 2021. - №5-2. - S. 146-157.
15. Poltavskaya Yu.O. *Osnovnyye faktory, vliyayushchie na vybor sposoba transportirovki // Sovremennyye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress.* - 2021. - T. 8. - S. 191-192.
16. Stepashkina A.S. i dr. *Obosnovaniye vybora optimal'nogo marshruta transportirovki zerna pri vnutrikhozyaystvennykh perevozkakh // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva.* - 2022. - T. 14. - №1. - S. 141-149.
17. Nadkarni R.R., Putuvayi B. *Vsestoronniy obzor literatury po mnogokriterial'nym metodam prinyatiya resheniy v istoricheskikh zdaniyakh // Zhurnal stroitel'noy inzhenerii.* - 2020. - T. 32. - S. 101814.
18. Tran Thi Hoang G., Dupont L., Camargo M. *Application of decision-making methods in smart city projects: a systematic literature review // Smart Cities.* - 2019. - T. 2. - №3. - S. 433-452.
19. Kou G. et al. *Evaluation of feature selection methods for text classification with small datasets using multiple criteria decision-making methods // Applied Soft Computing.* - 2020. - T. 86. - S. 105836.
20. Liao H., Mi X., Xu Z. *A survey of decision-making methods with probabilistic linguistic information: bibliometrics, preliminaries, methodologies, applications and future directions // Fuzzy Optimization and Decision Making.* - 2020. - T. 19. - №1. - S. 81-134.

**Matveev Alexander Grigorievich**  
Saint Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, St. Petersburg  
Student  
E-mail: alexzandermatveev@yandex.ru

**Menuhova Tatyana Anatolyevna**  
Saint Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, St. Petersburg  
Candidate of technical sciences  
E-mail: men-ta@yandex.ru

Научная статья

УДК 656:656.225:658.78

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-125-131

Д.Б. ЕФИМЕНКО, В.А. ДЕМИН, Д.А. КОМКОВА, В.Д. ГЕРАМИ

## МЕЛКОПАРТИОННАЯ ДОСТАВКА ТОВАРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА

***Аннотация.** В данной статье рассмотрены проблемы доставки мелких партий грузов от производителей. Для повышения гибкости логистической системы авторы предлагают использовать технологию пулинга. Использование данной технологии предполагает применение цифровых систем. Чтобы создать единое информационное поле и избежать факторов человеческой ошибки, авторы предлагают использовать мультиагентный подход. В статье авторы дают классификацию агентов в системе и основные характеристики их поведения во взаимодействии друг с другом. В статье предложена классификация ограничений, которые должны учитывать агенты при взаимодействии и выборе оптимального решения. Также представлены и структурированы математические задачи, стоящие перед мультиагентной системой при решении поставленной задачи – мелкопартионной доставки груза.*

***Ключевые слова:** пулинг, мультиагентный подход, транспорт, полная загрузка, мелкопартионная доставка*

### **Введение**

Транспортно-логистические системы большинства компаний поставщиков, производителей и ритейлеров находятся в стадии активного развития, на которое влияет увеличение объема товаропотоков в том числе за счет развития ритейла в России. Для качественного удовлетворения потребностей конечного клиента ритейлеры стараются повышать уровень сервиса и качества товаров, которые попадают на полки магазинов. Для обеспечения данных параметров логистическая система должна обладать гибкостью, которая обеспечивает качественное и эффективное удовлетворения потребительского спроса [1].

В настоящее время при обеспечении гибкости логистической системы возникают проблемы между участниками цепи поставок: крупными ритейлерами и компаниями-производителями. Торговые сети диктуют правила компаниям-производителям и требуют от них поставок продукции по невыгодным, а иногда убыточным схемам доставки. Снижение MOQ (Minimum order quantity – минимальной партии заказа) ставит компании в безвыходное положение по регулярной отправке продукции мелкими партиями [2].

Как показывает анализ логистических затрат компаний производителей и поставщиков, значительная их часть приходится на транспортировку. Производители, доставляющие небольшие объемы продукции в удаленные регионы, нередко вынуждены переплачивать по FTL-тарифам (Full truck load – полная загрузка транспорта) и перевозить продукцию в полупустых транспортных средствах, что приводит к низкому коэффициенту использования грузоподъемности транспортного средства.

Выходом из данной проблемы становится сборная доставка и LTL-тарифы (Less than truck load – частичная загрузка транспорта). Однако, сборная доставка и LTL-перевозка имеют ряд недостатков, которые усложняют работу транспортно-логистической системы и технологическую схему мелкопартионной доставки товаров.

### **Материал и методы**

Одним из трендов логистики в последние годы является технология пулинга. Пулинг – это технология совместной доставки грузов в торговые сети, являющаяся разновидностью сборной доставки, которая имеет несколько ключевых отличий:

- со склада консолидации транспортное средство отправляется напрямую к конечному грузополучателю, минуя промежуточные точки (склады «расконсолидации»). Это позволяет снизить дополнительные расходы и минимизировать срок доставки;

- меняется схема тарификации. Онлайн-площадка позволяет отслеживать, сколько паллет участвует в отправке [3].

Технология пулинга сосредоточена вокруг онлайн-платформы, на которой поставщики видят расписание отправок и могут «поделить» транспорт между собой, чтобы оптимизировать затраты на перевозки. В России данная система только развивается и взаимодействие участников происходит в основном на двух крупных платформах Pooling.me, Pro-pooling.ru. В странах Европы список платформ для реализации технологии пулинга шире: Mercurygate, Generixgroup, Flock Freight и другие.

Технология пулинга позволяет оптимизировать затраты и сделать процесс прозрачным для всех участников. Недобросовестные перевозчики могут поставить более высокую ставку по LTL-тарифу. Однако, использование платформы позволяет отследить тариф, количество поставщиков и груза, которые они планируют перевезти. Такое взаимодействие дает возможность каждому поставщику не переплачивать за перевозку груза.

Также технология пулинга позволит сократить время простоя транспортных средств, так как на разгрузку заказа будет приезжать только одно транспортное средство. Помимо простоя транспортного средства сокращается нагрузка на складские объекты потребителей, что позволяет упростить процесс планирования входящего потока для складских объектов, а соответственно становится возможным осуществлять равномерную доставку продукции. К примеру, до использования технологии пулинга доставка от каждого производителя отдельными транспортными средствами происходила 1-3 раза в неделю. Такая ситуация приводила к тому, что загрузка транспортного средства не превышала 2/3 объема. Транспортное средство было загружено не полностью, а складской объект тратил больше ресурсов на обработку входящего потока.

Технология пулинга способствует повышению коэффициента грузоподъемности и частоты доставок:

- сокращение потребного количества транспортных средств на 50 %;
- ежедневная доставка продукции.

Также можно выделить улучшение в области качества доставки:

- регулярность востребованных потоков в фиксированных точках назначения;
- постоянный объем и график работы транспорта, что положительно скажется на построении партнерских отношений;
- на 5-10 % увеличивается показатель уровня оказания услуг по дистрибуции. Это позволяет выполнять заказы на 99 %.

Сотрудниками компаний производителей отмечается, что пулинг позволяет увеличить показатель OTIF (On Time In Full). Данный показатель позволяет широко посмотреть на всю цепь поставок. OTIF состоит из трех основных составляющих поставки:

- 1) отношение количества своевременно доставленных к общему количеству товаров;
- 2) отношение количества, доставленного в полном объеме к общему количеству товаров;
- 3) отношение количества отгруженных и доставленных товаров без ошибок к общему количеству поставленного товара [4].

В перспективе технология пулинга будет только увеличиваться по объему использования, так как большинство ритейлеров уменьшают размеры партий и увеличивают регулярность поставок, в связи с тем, что приоритеты покупателей смещаются в сторону продукции, которая произведена недавно. Разница между затратами на классическую сборную доставку и пулингом может достигать от 10 % до 30 % [5].

Технология пулинга может помочь сократить транспортную составляющую в себестоимости продукции, а также повысить уровень сервиса. Однако, стоит учитывать важность и актуальность цифровой трансформации в современном мире и использование технологии пулинга в её рамках [6].

В виду этого было предложено использовать мультиагентный подход к перевозке продукции с применением технологии пулинга, что является перспективным направлением.

Каждый участник системы будет выступать в роли агента, который реализован и функционирует как самостоятельная единица или элемент искусственного интеллекта [7].

Мультиагентные системы состоят из множества искусственных агентов, которые работают совместно. Агент – это эволюция понятия «объект». Существует много определений агента. Однако можно выделить следующее: агент – некоторый объект, который обладает активностью, автономным поведением [8]. Агент может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, может взаимодействовать с окружением и другими агентами, а также может изменяться [9].

Так, в мультиагентной модели у каждого объекта есть программный агент. Например, объект (груз, автомобиль, склад) хочет достичь определенной цели. Этот объект имеет определенную стратегию, которая описывает как это получить [10].

С точки зрения мультиагентного подхода к технологии пулинга следует выделить трех основных агентов, которые будут взаимодействовать между собой:

1) поставщик – данный агент формирует заявку на отправку заказа, а также при получении положительного результата связывается с ближайшими поставщиками по вопросу заказа товара по пути до терминала транспортной компании;

2) транспортная компания – данный агент подбирает транспорт и маршрут для доставки продукции конечному потребителю;

3) потребитель – данный агент формирует отчет по результату доставки продукции и документации с поставщиками [11].

В зависимости от системы, в которой будет применяться мультиагентный подход, количество агентов может быть больше.

Мультиагентные технологии позволяют создать высокую персонализацию решений – каждого пользователя можно описать через набор соответствующих концептов и отношений [12]. Благодаря этому можно установить специальные цели, предпочтения и ограничения для каждого пользователя, учитывая индивидуальность каждого и принимать решения адресным путем.

Транспортно-логистическая система представляет собой сложную систему, при анализе которой необходимо учитывать множество параметров [13]. В частности, при планировании маршрутов доставки продукции необходимо учитывать множество параметров, в том числе время и стоимость доставки, вид транспортного средств, условия транспортировки и т.д. [14].

При формировании параметров мелкопартионной доставки товаров народного потребления важно определить параметры грузовой единицы и условий транспортировки товара, возможность транспортировки товара с иными без нарушения правил товарного соседства и режимов хранения.

Современные источники классифицируют товары народного потребления в две большие категории – Food и Non-food [15]. К категории Non-food принято относить промышленные непродовольственные товары. К категории Food относится продукция, произведенная из продовольственного сырья и продукция, используемая в пищу в натуральном или переработанном виде.

Проведя анализ данных категорий, можно обратить внимание, что категория продукции Non-Food не требуют особых условий транспортировки и товары данной категории могут быть доставлены любым типом транспортного средства. Рассматривая категорию Food можно отметить, что укрупненно товары данной категории делятся на 3 типа по условиям хранения и транспортировки: замороженная продукция, охлажденная продукция и продукция не требующая особых условий [16].

Для доставки продукции данных категорий стоит отметить, что параметры можно также разделить на категории жестких – не имеющих возможность корректировки, и гибких – с возможностью изменения минимальных значений. К жестким относятся параметры, связанные с возможной порчей груза во время транспортировки – режимы хранения и транспортировки. К гибким параметрам можно отнести клиентский сервис и стоимость. Гибкие пара-

метры позволят системе при отсутствии решения по выбранным параметрам понизить минимальные значения и произвести повторный поиск вариантов.

**Теория / Расчет**

Мультиагентный подход подразумевают разработку решения путем рассмотрения сложной задачи через решение нескольких более простых подзадач, что позволяет находить оптимальное решение простым способом.

В рамках решения задачи по выбору оптимальной схемы мелкопартионной доставки с использованием технологии пулинга задача представляется в виде шести блоков подзадач:

**1 блок.** Формирование параметров заказа.

**2 блок.** Отбор транспортных средств.

**3 блок.** Отбор терминала в соответствии с заказом.

**4 блок.** Отбор терминалов, имеющий свободные мощности для грузообработки и хранения заказа.

**5 блок.** Анализ загрузки терминалов.

**6 блок.** Решение задачи линейного программирования класса VRP.

Блоки 1-3 имеют аналитический характер и находят решение по средствам фильтров, которые устанавливаются при формировании заказа и включают в себя: вес и объем заказа, тип груза, срок выполнения заказа.

Блоки 4 и 5 взаимосвязаны друг с другом: блок 4 проводит отбор терминалов по параметрам, как в случае с блоком 2 и 3. В рамках отбора фильтр будет включать наличие температурных зон при необходимости, а также должно быть соблюдено правило, представленное в формуле 1.

$$R_{п.м.} \leq R_T, \tag{1}$$

где  $R_{п.м.}$  – количество паллетомест в заказе, шт.;

$R_T$  – количество свободных паллетомест на терминале, шт.

Блок 5 должен проводить анализ ретроспективных данных и сезонности, чтобы определить загрузку и среднее время грузообработки на терминале, а также получить информацию о количестве имеющихся мест для хранения или отправки заказа кроссдоком. Для работы с данным блоком лучше всего подходит метод экспоненциального сглаживания с тремя параметрами по модели Хольта – Винтерса [17]. Данная модель позволяет учесть изменение тренда и сезонных колебаний. Модель состоит из четырех уравнений результатом, которого является прогноз на будущий период по следующей формуле 2:

$$Y_{t+p} = (L_t + pT_t)S_{t-s-p}, \tag{2}$$

где  $L_t$  – экспоненциально сглаженная величина за последний период;

$p$  – порядковый номер периода, на который делаем прогноз;

$T_t$  – тренд за последний период;

$S_{t-s+p}$  – коэффициент сезонности за этот же период в последнем сезоне.

Коэффициенты сглаживания  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  задаются вручную специалистом по прогнозированию или системой и должны быть меньше или равные 1.

Блок 6 позволит решить задачу маршрутизации и выбора оптимального терминала и маршрута. Данная задача будет решаться по средствам задач линейного программирования класса VRP [18]. Однако, для решения задач, поставленных в работе, стоит рассмотреть не классическую задачу VRP, а задачу транспортной маршрутизации с временными окнами [19]. Задачу, представленную в блоке 6 можно представить в математическом виде и сформулировать следующим образом (3):

$$\sum_{i,j \in A} c_{i,j} x_{ij} \rightarrow \min, \tag{3}$$

где  $c_{i,j}$  – стоимость / время доставки товара с учетом стоимости / времени грузообработки на терминале;

$x_{ij}$  – ребро от  $i$ -ой вершине к  $j$ -ой.

### Результаты и обсуждение

При последовательном решении задач, представленных в блоках, итоговым решением будет оптимальная схема мелкопартионной доставки товара при использовании пулинга, которая позволит не только сэкономить на доставке товара, но и повысить коэффициент использования грузоподъемности транспортных средств, износа автопарка за счет оптимальной нагрузки на него, а также уменьшить отрицательное воздействие на окружающую среду путем уменьшения выбросов углекислого газа за счет использования меньшего количества грузовиков для доставки товаров [20].

### Выводы

Транспортно-логистические системы производителей, поставщиков и ритейлеров динамично развиваются, что требует постоянного совершенствования процессов, которые происходят внутри них. Таким образом, стоит обратить внимание не только на объекты инфраструктуры, но и на материальные потоки между ними, в виду этого особое место в управлении процессами занимает эффективная организация. Интеграция современных систем позволяет повысить качество организации доставок. При организации мелкопартионной доставки груза совместное использование технологии пулинга и мультиагентной технологии позволит выбирать оптимальное решение по схеме доставки и загрузки на транспортное средство и терминал грузообработки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дюкалов Е.А. Основные тенденции развития рынка ритейла // Студенческий. – 2019. – №17-1(61). – С. 62-66.
2. Как торговым сетям и производителям выстраивать отношения [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://pro.rbc.ru/demo/5dee62329a794753b24788e2>
3. Улич А.В. Пулинг как способ оптимизации цепей поставок сборных грузов FMCG сектора // Вестник магистратуры. – 2019. – №12-2 (99). – С. 175-177.
4. Когда торговой сети начинать использовать РЦ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.retail.ru/articles/kogda-torgovoy-seti-nachinat-ispolzovat-rt>
5. Сборная доставка, догруз, пулинг – в чем разница [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://perevozka24.ru/pages/sbornaya-dostavka-dogruz-puling-v-chem-raznica>
6. Федосеева Е.С. Оптимизация затрат на логистику с помощью пулинга // Шаг в науку. – 2020. – №4. – С. 93-95.
7. Ulybin A.V., Arzamastsev A.A. Multi-agent approach in simulation modeling // Bulletin of TSU. -2010. - Vol. 5. – P. 1470-1471.
8. Котельников А.А. Методы принятия решений при мультиагентном моделировании систем // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2013. – №1. – С. 210-212.
9. Боргест Н.М., Симонова Е.В. Основы использования мультиагентных систем, использующих онтологию / под общ. ред. И.И. Спиридонова. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет. - 2009. – 80 с.
10. Искандеров Ю.М. Применение интеллектуальных агентов при моделировании интегрированной информационной системы транспортной логистики // Информатизация и связь. – 2020. – №5. – С. 59-66. – DOI 10.34219/2078-8320-2020-11-5-59-66.
11. Demin V.A., Efimenko D.B., Komkova D.A., Rogov V.R., Blinov D.V. Systems of signals generating and processing in the field of on board communications // Institute of electrical and electronics engineers inc. - Moscow. - 2021. – №9416077. – DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416077
12. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2001. – Т. 3. - №1. – С. 71-79.
13. Фролова О.Н., Тибалова С.О. Система управления в транспортно-логистической системе // Логистические системы в глобальной экономике. – 2016. – №6. – С. 342-346.
14. Демин В.А. Актуальные задачи развития транспортно-логистических систем // Мир транспорта. – 2018. – №6(79). – С. 14-19.
15. Глоссарий [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.retail.ru/glossary/>
16. Кочеткова А.А. Актуальные аспекты технического регулирования в области продуктов здорового питания // Переработка молока. – 2013. – №10(168). – С. 6-9.
17. Мосьпан Т.Д. Прикладная математика: современные проблемы математики, информатики и моделирования // Материалы II всероссийской научно-практической конференции. – Краснодар. – 2020. - С. 83-89.

18. Чернышев Ю.О., Кубил В.Н. Обзор динамических задач маршрутизации транспорта // Программные продукты и системы. – 2020. – №3. – С. 491-501.

19. Курейчик В.М., Мартынов А.В. Об алгоритмах решения задачи коммивояжера с временными ограничениями // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2014. – №1(16). – С. 1-13.

20. Shenle Pan, Eric Ballot, Fre´de´ric Fontane. The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains // Int. J. Production Economics. - 2009. - Vol. 143. – P. 86-94.

**Дмитрий Борисович Ефименко**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой правовое и таможенное регулирование на транспорте

E-mail: ed2002@mail.ru

**Василий Александрович Демин**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Д.т.н., доцент, заведующий кафедрой логистики

E-mail: logist3@yandex.ru

**Дарья Андреевна Комкова**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Старший преподаватель кафедры логистики

E-mail: komkova\_da@madi.ru

**Виктория Дарабовна Герامي**

Международный Институт Экономики и Финансов НИУ ВШЭ

Адрес: 119049, Россия, Москва, ул. Шаболовка, д. 26, стр. 3

Д.т.н., профессор

E-mail: v\_gerami@mail.ru

---

D.B. EFIMENKO, V.A. DEMIN, D.A. KOMKOVA, V.D. GERAMI

## SMALL SHIPMENTS DELIVERY OF GOODS USING A MULTI-AGENT APPROACH

***Abstract.** This article discusses the problems of delivery of small shipments from manufacturers. The problems of flexibility of the modern logistics system, which must be constantly adjusted for high-quality and effective satisfaction of consumer demand, are considered. To increase the flexibility of the system, the authors suggest using pooling technology, considering its advantages and disadvantages in modern conditions.*

*However, the use of this technology involves the use of information systems, to create a single information field and avoid human error factors, the authors suggest using a multi-agent approach. In the article, the authors give a classification of agents in the system and the main characteristics of their behavior in interaction with each other.*

*In this article, the authors propose a classification of constraints that agents should take into account when interacting and choosing the optimal solution. Mathematical problems that a multi-agent system should solve when solving the task - small shipments delivery - are also presented and structured.*

**Keywords:** pooling, multi-agent approach, transport, full load, small batch delivery

### BIBLIOGRAPHY

1. Dyukalov E.A. Osnovnye tendentsii razvitiya rynka riteyla // Studencheskiy. - 2019. - №17-1(61). - S. 62-66.
2. Kak torgovym setyam i proizvoditelyam vystraivat` otnosheniya [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://pro.rbc.ru/demo/5dee62329a794753b24788e2>
3. Ulich A.V. Puling kak sposob optimizatsii tsepey postavok sbornykh грузов FMCG sektora // Vestnik magistratury. - 2019. - №12-2 (99). - S. 175-177.
4. Kogda torgovoy seti nachinat` ispol`zovat` RTS [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.retail.ru/articles/kogda-torgovoy-seti-nachinat-ispolzovat-rts>
5. Sbornaya dostavka, dogruz, puling - v chem raznitsa [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://perevozka24.ru/pages/sbornaya-dostavka-dogruz-puling-v-chem-raznica>

6. Fedoseeva E.S. Optimizatsiya zatrat na logistiku s pomoshch'yu pulinga // Shag v nauku. - 2020. - №4. - S. 93-95.
7. Ulybin A.V., Arzamastsev A.A. Multiagent approach in simulation modeling // Bulletin of TSU. - 2010. - Vol. 5. - R. 1470-1471.
8. Kotelnikov A.A. Metody prinyatiya resheniy pri mul'tiagentnom modelirovanii sistem // Innovatsii na osnove informatsionnykh i kommunikatsionnykh tekhnologiy. - 2013. - №1. - S. 210-212.
9. Borgest N.M., Simonova E.V. Osnovy ispol'zovaniya mul'tiagentnykh sistem, ispol'zuyushchikh ontologiyu / pod obshch. red. I.I. Spiridonova. - Samara: Samarskiy gosudarstvennyy aerokosmicheskiy universitet. - 2009. - 80 s.
10. Iskanderov Yu.M. Primenenie intellektual'nykh agentov pri modelirovanii integrirovannoy informatsionnoy sistemy transportnoy logistiki // Informatizatsiya i svyaz'. - 2020. - №5. - S. 59-66. - DOI 10.34219/2078-8320-2020-11-5-59-66.
11. Demin V.A., Efimenko D.B., Komkova D.A., Rogov V.R., Blinov D.V. Systems of signals generating and processing in the field of on board communications // Institute of electrical and electronics engineers inc. - Moscow. - 2021. - №9416077. - DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416077
12. Skobelev P.O. Otkrytie mul'tiagentnye sistemy dlya podderzhki protsessov prinyatiya resheniy pri upravlenii predpriyatiyami // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. - 2001. - T. 3. - №1. - S. 71-79.
13. Frolova O.N., Tibalova S.O. Sistema upravleniya v transportno-logisticheskoy sisteme // Logi-sticheskie sistemy v global'noy ekonomike. - 2016. - №6. - S. 342-346.
14. Demin V.A. Aktual'nye zadachi razvitiya transportno-logisticheskikh sistem // Mir transporta. - 2018. - №6(79). - S. 14-19.
15. Glossariy [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.retail.ru/glossary/>
16. Kochetkova A.A. Aktual'nye aspekty tekhnicheskogo regulirovaniya v oblasti produktov zdorovogo pitaniya // Pererabotka moloka. - 2013. - №10(168). - S. 6-9.
17. Mospan T.D. Prikladnaya matematika: sovremennyye problemy matematiki, informatiki i modelirovaniya // Materialy II vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Krasnodar. - 2020. - S. 83-89.
18. Chernyshev Yu.O., Kubil V.N. Obzor dinamicheskikh zadach marshrutizatsii transporta // Programmnye produkty i sistemy. - 2020. - №3. - S. 491-501.
19. Kureychik V.M., Martynov A.V. Ob algoritmakh resheniya zadachi kommivoyazhera s vremennymi ogranicheniyami // Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie. - 2014. - №1(16). - S. 1-13.
20. Shenle Pan, Eric Ballot, Frederic Fontane. The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains // Int. J. Production Economics. - 2009. - Vol. 143. - R. 86-94.

**Dmitry Borisovich Efimenko**

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University  
Russia, 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave., 64  
Doctor of technical sciences  
E-mail: ed2002@mail.ru

**Vasily Alexandrovich Demin**

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University  
Russia, 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave., 64  
Doctor of technical sciences  
E-mail: logist3@yandex.ru

**Daria Andreevna Komkova**

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University  
Russia, 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave., 64  
Senior lecturer  
E-mail: komkova\_da@madi.ru

**Victoria Darabovna Gerami**

HSE University  
Russia, 119049, Russia, Moscow, Shabolovka str., 26/3  
Doctor of technical sciences  
E-mail: v\_gerami@mail.ru

Научная статья

УДК 658.5.012.2

doi:10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-132-139

В.В. ВАСИЛЬЕВА, О.А. ИВАНОВ

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММЫ ЛОЯЛЬНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО БРЕНДА

***Аннотация.** В статье рассматриваются особенности повышения уровня лояльности клиентов на предприятиях автомобильной индустрии с помощью внедрения программы лояльности. Представлена возможная модель программы лояльности, применимой для предприятий автомобильной индустрии - сети дилерских представительств автомобильного бренда.*

***Ключевые слова:** программа лояльности, лояльность, бренд, маркетинговая стратегия, пользовательский опыт*

### **Введение**

В современной конкурентной среде для повышения лояльности клиентов бизнес часто применяет систему поощрений, основанную на историческом покупательском поведении клиента, - программу лояльности [2]. Стимулирование клиентов повторно обращаться за услугами и товарами, их удержание характерно для бизнеса любого масштаба. Программы лояльности или их элементы широко применяются как на локальных предприятиях, так и в сетевых организациях. Имея различия в наборе предпочтений, техническом уровне реализации, каждая из этих программ преследует схожие цели - повышение лояльности клиентов и, как следствие, увеличение значения одной из наиболее важных для бизнеса метрик - Retention Rate (RR) [дословно - коэффициент удержания] [3, 4]. Данная метрика показывает долю клиентов, продолжающих использование продукта или сервиса, за определенный период времени. Высокое значение этого показателя говорит о наличии устойчивого источника дохода, извлекаемого из лояльных клиентов, и, следовательно, является одним из показателей эффективности.

В автомобильном бизнесе также применяются программы лояльности. В основном они относятся к розничным и оптовым сетям автомобильных запчастей, расходных материалов и других автомобильных товаров. Модель программы лояльности в данном случае может быть простой безуровневой, с прогрессией размера скидки в зависимости от приобретенного объема продукта, либо, реже, многоуровневой с особыми предпочтениями для участников программы определенного уровня.

Программа лояльности автомобильного бренда не может основываться только на объеме приобретенного продукта, т.к. автомобиль, являясь сложным дорогостоящим техническим средством, как правило, эксплуатируется в течение нескольких лет. Основной целью программы лояльности в контексте ее использования автомобильным брендом является сохранение приверженности клиента компании при выборе нового автомобиля. Автомобильные бренды с многолетней историей, как правило, уже имеют сильное ядро лояльных покупателей. В этом случае программа лояльности имеет скорее вспомогательный характер и служит для демонстрации отношения (лояльности) компании к своим клиентам. Примером такой программы может служить программа лояльности Mercedes-Benz Australia, основанная на готовом решении Member Benefits Australia, предлагающая индивидуальный подход к каждому клиенту, консультации и сопровождение при покупке товаров или услуг, службу поддержки и другие предпочтения. В Великобритании действует программа Mercedes-Benz Rewards с уникальными предложениями для клиентов бренда: компания предлагает участникам программы приглашения на светские мероприятия, спортивные соревнования, презентации новых моделей, закрытые мероприятия «только для членов клуба», а также эксклюзив-

ные предложения, скидки. Таким образом Mercedes поддерживают и оправдывают высокий уровень лояльности клиентов к своему бренду.

Очевидно, что новый автомобильный бренд, выходящий на рынок, нуждается в лояльных клиентах. Поскольку новый бренд, в отличие от “классических” брендов, имеющих определенный уровень доверия, не может апеллировать многолетним опытом и экспертизой в своей маркетинговой коммуникации, наиболее очевидным средством привлечения и удержания клиентов может являться программа лояльности. Привлекая пользователей за счет выгодных предложений, бренд сможет выстраивать доверительные отношения с клиентами с помощью персонализации, прозрачности, соответствия предлагаемых опций риторике позиционирования бренда.

Несмотря на уязвимую позицию на рынке новый бренд имеет преимущество [1]: возможность применять опыт конкурентов, внедрять новые решения, экспериментировать. Создание эффективной программы лояльности в условиях современного рынка - приоритетная задача для бизнеса, решение которой позволит сформировать лояльность к бренду, укрепить его позиции на рынке.

### ***Материал и методы***

Предположения по дизайну модели программы лояльности основаны на данных одного из автомобильных брендов. Ввиду отсутствия единого подхода к проектированию программы лояльности были исследованы общие принципы построения программы лояльности как части маркетинговой стратегии на основе анализа информации из различных источников. Структура и содержание программы лояльности выбраны, исходя из данных об аудитории, позиционирования бренда, особенностей коммерческой деятельности компании.

### ***Теория***

Программы лояльности стали неотъемлемой частью взаимоотношения бизнеса и клиентов. Одной из основных целей программы лояльности для многих компаний является использование ее в качестве инструмента повышения лояльности клиентов к своему бренду. Однако во многих случаях больший интерес для клиента представляют непосредственно условия и преимущества самой программы, что не способствует повышению уровня доверия к бренду. Также зачастую фокус компании может сместиться в сторону сбора данных об участниках программы, тогда качество предложения может снизиться [5].

Лояльность клиента обычно оценивается в количестве повторных покупок, обращений.

Программа лояльности часто основывается на следующих предположениях [3]:

- 1) клиенты могут испытывать потребность в большем вовлечении: взаимодействовать с продуктом на более глубоком уровне;
- 2) часть клиентов из этой группы демонстрируют тенденцию к проявлению лояльности;
- 3) группа является прибыльной (соблюдается принцип Парето);
- 4) лояльность клиентов можно повысить с помощью программы лояльности.

Процесс повышения лояльности покупателей называется жизненным циклом лояльности. Он может быть достаточно продолжительным по времени, однако применение программы лояльности может ускорить его в несколько раз, мотивируя клиентов, взаимодействующих с компанией непродолжительное время (например, 1-2 года), демонстрировать поведение наиболее прибыльной группы клиентов (к примеру, являющихся таковыми 10 лет).

Выделяют несколько типов программ лояльности (табл. 1):

Программы типа 1 и 2 (табл. 1) являются наиболее подходящими для небольших компаний с недостатком ресурсов для реализации более сложных программ, недостаточным уровнем экспертизы в вопросах обслуживания баз данных, анализа данных [2]. Тип 3 и 4 (табл. 1) наоборот более применимы для средних и крупных компаний, имеющих необходимые ресурсы, специалистов [2].

Основанием для выбора конкретного типа программы лояльности, формы ее исполнения, набора предпочтений непосредственно служит задача, поставленная перед компанией. Исходя из возможностей компании, доступных ресурсов, выбирается технический уровень

реализации проекта программы. По результатам анализа аудитории выбираются каналы привлечения и способы взаимодействия с аудиторией.

Таблица 1 - Типы программ лояльности [2]

Тип программы	Характеристика программы	Пример
Тип 1. Участники программы получают скидку при регистрации	<ul style="list-style-type: none"> <li>– участие в программе открыто для всех клиентов</li> <li>– каждый пользователь получает одинаковый процент скидки</li> <li>– у компании нет социodemографических данных о клиенте, не учитывается история покупок</li> <li>– отсутствует таргетированная коммуникация, нацеленная на участников</li> </ul>	Программы лояльности в небольших магазинах
Тип 2. Участники получают товар/услугу бесплатно после покупки определенного количества товаров/услуг	<ul style="list-style-type: none"> <li>– участие в программе открыто для всех клиентов;</li> <li>– компания не ведет базу данных пользователей, в которой содержалась бы информация о покупках конкретного клиента</li> </ul>	Местная автомойка, авто-сервис
Тип 3. Участники программы получают скидку или баллы за совокупный объем приобретенных товаров/услуг	<ul style="list-style-type: none"> <li>– попытка стимулирования участников тратить определенную сумму для достижения/поддержания следующего уровня скидки</li> </ul>	Сетевые магазины автозапчастей/автотоваров, авиакомпании, отели, кредитные продукты
Тип 4. Участники получают персональные предложения через рассылку	<ul style="list-style-type: none"> <li>– участники разделены на сегменты, основываясь на их истории покупок;</li> <li>– требуется наличие базы данных клиентов, содержащей исчерпывающие социodemографические данные о клиенте и его историю покупок</li> </ul>	Онлайн-ритейлеры

Система вознаграждения - наиболее важная часть программы лояльности для конечного пользователя. Существуют различные способы вознаграждения. На практике наиболее часто применяются [5, 6]:

- частичная компенсация стоимости товара/услуги;
- возмещение полной стоимости товара/услуги за определенное количество покупок;
- предложение выгодных условий по другим продуктам/услугам.

Вознаграждение может быть выражено как в натуральном, денежном, выражении (фиатная валюта), либо в эквиваленте - бонусах, баллах - внутренней валюте программы лояльности. Наиболее выгодным для компании вариантом является предоставление вознаграждений в собственном эквиваленте.

Продвинутые программы лояльности предусматривают дифференциацию пользователей по уровню лояльности. Каждый новый уровень предоставляет определенные преимущества. Присвоение нового уровня происходит, как правило, по достижению участником определенного количества эквивалента вознаграждения (бонусы, баллы, очки); после выполнения участником определенных условий (задание, список действий); по истечению определенного временного промежутка; по сочетанию вышеперечисленных условий.

Пользовательский опыт участников программы лояльности во многом определяет ее техническая реализация [10]. Общий принцип учета участников программы предусматривает присвоение каждому участнику уникального идентификационного номера. Однако существуют примеры программ, в которых не ведется учет участников. В качестве идентификации используются, например, кодовые слова, коды и т.п. Как правило, современные программы лояльности предусматривают использование автоматизированных систем учета участников программы, регистрации их действий. Носитель идентификационного номера участника программы может быть физическим (карта лояльности), однако в последнее время наблюдается тенденция цифровизации - идентификатор участника лояльности находится на цифровом носителе. Считывание информации с физических и цифровых носителей может производиться разными способами: ручное заполнение номера идентификатора, распознавание штрих- или QR-кода, считывание идентификационного номера посредством радиочастотной идентификации (RFID) [11] или «связи в ближком поле» (NFC) [12].

В настоящее время существуют примеры программ лояльности, являющихся частью клиентской платформы - цифрового продукта, представляющего собой инструмент взаимодействия клиента и бизнеса. Функционально подобные решения могут значительно отличаться, однако в общем их идея состоит в предоставлении интерактивного взаимодействия: пользователь может выбирать продукты/услуги, получать информацию об акциях, управлять своим уровнем лояльности: следить за количеством баллов, видеть условия перехода на другой уровень и контролировать свой прогресс. Добавление элемента интерактивности в участие в программе лояльности может способствовать большей вовлеченности участников, и, как следствие, увеличения числа лояльных клиентов.

Оценка эффективности программы лояльности проводится на основе анализа ряда показателей. Наиболее важными из них являются enrollment rate (ER, коэффициент привлечения), activation rate (AR, коэффициент активации), repeat purchase rate (RPR, коэффициент повторной покупки), average spend per member (средний чек участника), lifetime value (LTV, численный показатель, показывающий какой доход принес пользователь за все время отношений с компанией), net promoter score (NPS, коэффициент удовлетворенности сервисом).

### ***Результаты и обсуждение***

В данном разделе рассматривается пример проектирования модели программы лояльности развивающегося на российском рынке автомобильного бренда.

Автомобильному бренду необходимо построить эффективную систему взаимодействия с клиентами. Бренд позиционирует себя как премиальный. Существует три базовых продукта (модели автомобилей), ориентированные на соответствующие сегменты аудитории.

Компания выделяет три сегмента аудитории:

- сегмент 1: молодые люди от 25 до 35 лет;
- сегмент 2: люди в возрасте 35-40 лет;
- сегмент 3: люди старше 40 лет.

Сегментирование обусловлено различием в поведенческих особенностях, социальном статусе.

Выделены наиболее существенные недостатки настоящего уровня обслуживания: отсутствие единого пользовательского опыта у разных официальных дилеров, отсутствие единой базы клиентов, неоднородный тон маркетинговой коммуникации.

Основная задача бренда - разработать эффективное решение для привлечения лояльных клиентов.

Исходя из представленных вводных данных, предложено решение.

Технически предлагается реализация клиентской платформы в виде цифрового сервиса: веб- и мобильного приложения (рис. 1). Функционал клиентской платформы может включать информацию о техническом состоянии автомобиля, график сервисного обслуживания, связь с персональным менеджером/механиком (чат/звонки), а также возможность интерактивного взаимодействия с программой лояльности: мониторинг текущего уровня, прогресс до следующего, изучение специальных предложений от компании и партнеров и т.п.

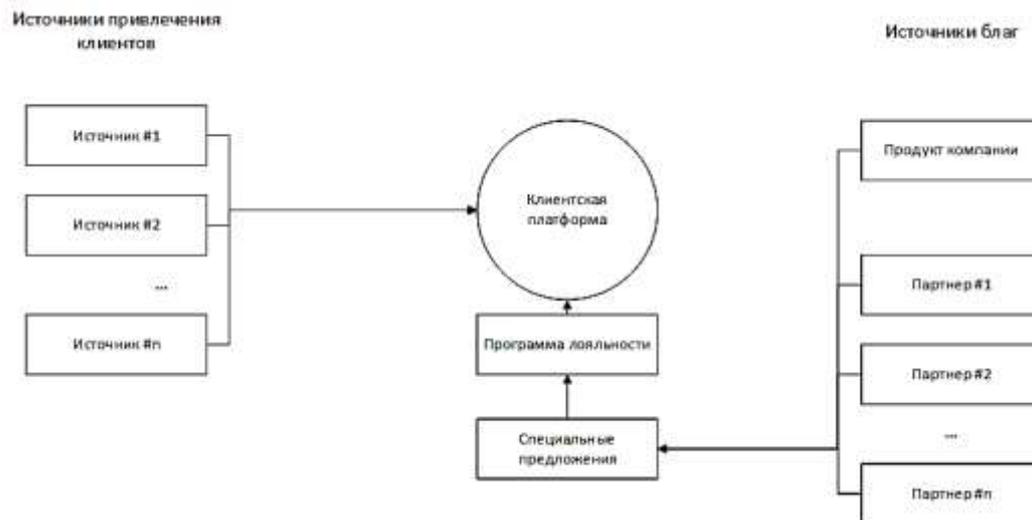


Рисунок 1 - Принципиальная схема клиентской платформы

Тип предлагаемой программы лояльности совмещает характеристики типа 3 и типа 4 (табл. 1). Предложена многоуровневая структура с параллельной иерархией (рис. 2).

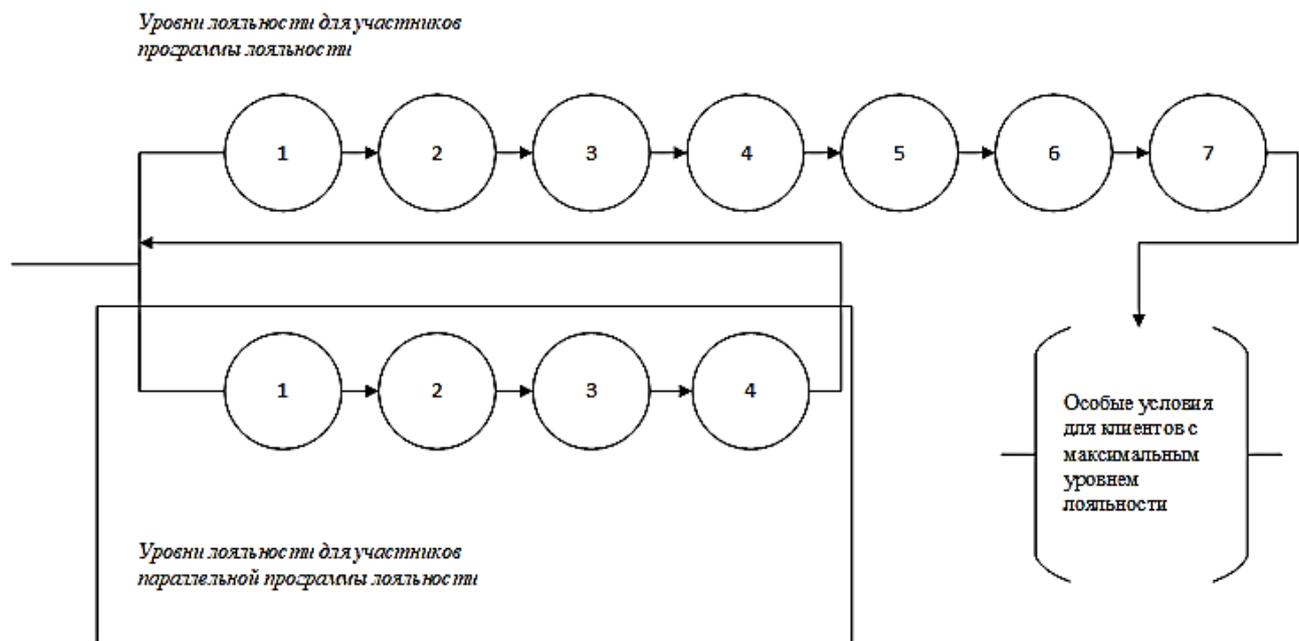


Рисунок 2 - Иерархическая структура предложенной программы лояльности

Существование двух независимых систем рейтинга связано с выбором двух категорий участников программы лояльности: помимо непосредственно владельцев автомобилей бренда в программе лояльности могут принять участие пользователи каршеринга/аренды. Разделение участников по уровню лояльности обусловлено:

- для категории клиентов бренда - автовладельцев: спецификой автомобильного рынка: длительность срока эксплуатации автомобиля достаточно высока (в среднем 5 лет), продолжительным гарантийным сроком, предоставляемым производителем (в конкретном случае производителем предоставляется гарантия более 5 лет).

- для категории пользователей сервисов мобильности - измеряемым уровнем вовлеченности: частота пользования услугами.

Создание параллельной структуры программы лояльности обусловлено снижением порога входа для увеличения базы потенциальных клиентов бренда. Идея заключается в формировании лояльности к бренду у пользователей сервисов мобильности: каршеринга, аренды, подписки на авто. Пользуясь продуктами бренда (автомобили) на постоянной основе, участники программы с большей вероятностью могут конвертироваться непосредственно в клиентов бренда.

Исходя из особенностей послепродажного дилерского обслуживания, принято решение разделения основной системы рейтинга (для владельцев автомобилей бренда) по количеству пройденных ТО-2, либо по количеству лет владения автомобилем: с прохождением каждого ТО-2, либо каждый год участнику присваивается новый уровень. Переход на высший уровень программы лояльности возможен по достижении 7 (максимальный срок гарантии) уровня программы, либо после повторного приобретения автомобиля бренда. ТО-2 выбрано условием перехода на следующий уровень из-за большего интервала и стоимости работ по сравнению с другими видами обслуживания.

Прогресс статуса по параллельной системе рейтинга (для клиентов сервисов мобильности) увеличивается с каждой поездкой с использованием автомобиля бренда (для каршеринга), либо за определенный период (для подписки на авто/аренды). По достижению максимального уровня в параллельной программе участникам предоставляется скидка / выгодные условия на покупку нового автомобиля. Таким образом возможно увеличить число покупателей автомобиля бренда.

Участие в программе лояльности предусматривает получения участниками вознаграждения. Присвоение следующего уровня лояльности предоставляет увеличение существующих и предоставление новых привилегий. В качестве стартового значения уровня скидки (DA, discount amount) принято 5%. Предложена дисконтная программа обслуживания и ремонта у официального дилера с прогрессивной системой инкремента дисконта:

$$DA = (1.05^n - 1) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $n$  – уровень участника основной системы рейтинга.

Для параллельной системы рейтинга предусмотрены фиксированные значения скидки для каждого уровня.

Также предложены нематериальные вознаграждения для участников программы, которые могут повысить лояльность к бренду: приглашения на презентации, иные светские имиджевые и культурные мероприятия.

Основной показатель эффективности предложенной программы будут иметь следующий вид:

$$LTV = \text{стоимость автомобиля} + \text{приобретенные услуги} + (\text{стоимость ТО}_2)^{n_{\text{сред}}}, \quad (2)$$

где  $n_{\text{сред}}$  – среднее значение показателя удержания – количество периодов.

### **Выводы**

Программа лояльности автомобильного бренда может являться значительным конкурентным преимуществом. Разработка эффективной программы лояльности – одна из приоритетных задач при построении маркетинговой стратегии. Предложенная в исследовании модель программы лояльности автомобильного бренда может увеличить число лояльных клиентов бренда и, как следствие, улучшить экономические показатели, участвовать в формировании имиджа бренда. Предложенная модель программы лояльности нуждается в тестировании, по результатам которого можно сделать выводы о ее эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Porter M.E., Millar, V.E. How information gives you competitive advantage [Электронный ресурс] / 1985. - Режим доступа: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb054287/full/html>
2. Berman B. Developing an effective customer loyalty program. California management review [Электронный ресурс] / №49(1). – 2006. - P. 123-148. - Режим доступа: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.2307/41166374>
3. Evanschitzky H., Ramaseshan B., Woissetschläger D.M., Richelsen V., Blut M., Backhaus C. Consequences of customer loyalty to the loyalty program and to the company [Электронный ресурс] / Journal of the academy of marketing science. - №40(5). - P. 625-638. - 2012. - Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11747-011-0272-3>
4. Effects of loyalty programs on value perception, program loyalty, and brand loyalty [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0092070303031003002>
5. Rese M., Hundertmark A., Schimmelpfennig H. and Schons L.M. Loyalty program types as drivers of customer retention: a comparison of stand-alone programs and multi-vendor loyalty programs through the lens of transaction cost economics [Электронный ресурс] / The International review of retail, distribution and consumer research. - №23(3). – 2013. - P. 305-323. - Режим доступа: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593969.2013.775957>
6. Ieva M., Ziliani C. Towards digital loyalty programs: insights from customer medium preference segmentation. International Journal of Retail & Distribution Management [Электронный ресурс] / 2017. - Режим доступа: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJRDM-01-2016-0012/full/html?fullSc=1&mbSc=1&fullSc=1>
7. Dorotic M., Keeping loyalty programs fit for the digital age [Электронный ресурс] / 2019. - Режим доступа: <https://biopen.bi.no/bi-xmlui/handle/11250/2596565>
8. Hollebeek L.D., Das K., Shukla Y. Game on! How gamified loyalty programs boost customer engagement value [Электронный ресурс] / International Journal of Information Management. - №61. – 2021. - P. 102308. - Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401221000013>
9. Kumar V, Reinartz W. Loyalty programs: Design and effectiveness [Электронный ресурс] / In Customer relationship management. – 2018. – P. 179-205. - Режим доступа: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-55381-7\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-55381-7_10)
10. Purohit A., Thakar U. Role of information and communication technology in improving loyalty program effectiveness: a comprehensive approach and future research agenda [Электронный ресурс] / Information Technology & Tourism. - №21(2). – P. 259-280. - 2019. - Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40558-018-00139-6>
11. Bayraktar A., Yilmaz E. Implementation of RFID technology for the differentiation of loyalty programs [Электронный ресурс] / In 2007 1st Annual RFID Eurasia. – 2007. - P. 1-6. - Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4368117/>
12. Smets J., Ergeerts G., Beyers R., Schrooyen F., Ceulemans M., Wante L., Renckens K. An NFC-based customer loyalty system [Электронный ресурс] / In the first international conference on mobile services, resources, and user. - 2011. - Режим доступа: [http://personales.upv.es/thinkmind/dl/conferences/mobility/mobility\\_2011/mobility\\_2011\\_1\\_20\\_40126.pdf](http://personales.upv.es/thinkmind/dl/conferences/mobility/mobility_2011/mobility_2011_1_20_40126.pdf)
13. Banasiewicz A. Loyalty program planning and analytics [Электронный ресурс] / Journal of Consumer Marketing. – 2005. - Режим доступа: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/07363760510623920/full/html>
14. Baxter, R.K. The Membership Economy. Find your Super Users, Master the Forever. - [Электронный ресурс] / 2015. - Режим доступа: <https://fitnessbusinesspodcast.com/wp-content/uploads/2015/10/the-membership-economy-baxter-en-24269.pdf>
15. Kumar, V., Sharma, A., Shah, R. and Rajan, B., 2013. Establishing profitable customer loyalty for multinational companies in the emerging economies: A conceptual framework [Электронный ресурс] / Journal of International Marketing. - №21(1). - P. 57-80. - Режим доступа: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1509/jim.12.0107>

**Васильева Виктория Владимировна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, Орёл, ул. Московская, д. 77  
К.т.н., доцент, доцент кафедры сервиса и ремонта машин  
E-mail: vivaorel57@gmail.com

**Иванов Олег Анатольевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, Орёл, ул. Московская, д. 77  
Студент  
E-mail: olegivanovwork@hotmail.com

---

V.V. VASILYEVA, O.A. IVANOV

**DESIGNING THE AUTOMOTIVE BRAND'S LOYALTY PROGRAM**

**Abstract:** this article discusses the features of increasing the level of customer loyalty at the enterprises of the automotive industry through the introduction of a loyalty program. A possible model of a loyalty program applicable to enterprises in the automotive industry - a network of dealerships of an automobile brand - is presented.

**Keywords:** loyalty program, loyalty, brand, marketing strategy, user experience

## BIBLIOGRAPHY

1. Porter M.E., Millar, V.E. How information gives you competitive advantage [Elektronnyy resurs] / 1985. - Rezhim dostupa: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb054287/full/html>
2. Berman B. Developing an effective customer loyalty program. California management review [Elektronnyy resurs]. - №49(1). - 2006. - R. 123-148. - Rezhim dostupa: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.2307/41166374>
3. Evanschitzky H., Ramaseshan B., Woisetschlger D.M., Richelsen V., Blut M., Backhaus C. Consequences of customer loyalty to the loyalty program and to the company [Elektronnyy resurs] / Journal of the academy of marketing science. - №40(5). - R. 625-638. - 2012. - Rezhim dostupa: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11747-011-0272-3>
4. Effects of loyalty programs on value perception, program loyalty, and brand loyalty [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0092070303031003002>
5. Rese M., Hundertmark A., Schimmelpfennig H. and Schons L.M. Loyalty program types as drivers of customer retention: a comparison of standalone programs and multivendor loyalty programs through the lens of transaction cost economics [Elektronnyy resurs] / The International review of retail, distribution and consumer research. - №23(3). - 2013. - R. 305-323. - Rezhim dostupa: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593969.2013.775957>
6. Ieva M., Ziliani C. Towards digital loyalty programs: insights from customer medium preference segmentation. International Journal of Retail & Distribution Management [Elektronnyy resurs] / 2017. - Rezhim dostupa: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJRDM-01-2016-0012/full/html?fullSc=1&mbSc=1&fullSc=1>
7. Dorotic M., Keeping loyalty programs fit for the digital age [Elektronnyy resurs] / 2019. - Rezhim dostupa: <https://biopen.bi.no/bi-xmlui/handle/11250/2596565>
8. Hollebeek L.D., Das K., Shukla Y. Game on! How gamified loyalty programs boost customer engagement value [Elektronnyy resurs] / International Journal of Information Management. - №61. - 2021. - P. 102308. - Rezhim dostupa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401221000013>
9. Kumar V, Reinartz W. Loyalty programs: Design and effectiveness [Elektronnyy resurs] / In Customer relationship management. - 2018. - R. 179-205. - Rezhim dostupa: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-55381-7\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-55381-7_10)
10. Purohit A., Thakar U. Role of information and communication technology in improving loyalty program effectiveness: a comprehensive approach and future research agenda [Elektronnyy resurs] / Information Technology & Tourism. - №21(2). - R. 259-280. - 2019. - Rezhim dostupa: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40558-018-00139-6>
11. Bayraktar A., Yilmaz E. Implementation of RFID technology for the differentiation of loyalty programs [Elektronnyy resurs] / In 2007 1st Annual RFID Eurasia. - 2007. - R. 1-6. - Rezhim dostupa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4368117/>
12. Smets J., Ergeerts G., Beyers R., Schrooyen F., Ceulemans M., Wante L., Renckens K. An NFC-based customer loyalty system [Elektronnyy resurs] / In the first international conference on mobile services, resources, and user. - 2011. - Rezhim dostupa: [http://personales.upv.es/thinkmind/dl/conferences/mobility/mobility\\_2011/mobility\\_2011\\_1\\_20\\_40126.pdf](http://personales.upv.es/thinkmind/dl/conferences/mobility/mobility_2011/mobility_2011_1_20_40126.pdf)
13. Banasiewicz A. Loyalty program planning and analytics [Elektronnyy resurs] / Journal of Consumer Marketing. - 2005. - Rezhim dostupa: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/07363760510623920/full/html>
14. Baxter, R.K. The Membership Economy. Find your Super Users, Master the Forever. - [Elektronnyy resurs] / 2015. - Rezhim dostupa: <https://fitnessbusinesspodcast.com/wp-content/uploads/2015/10/the-membership-economy-baxter-en-24269.pdf>
15. Kumar V., Sharma A., Shah R., Rajan B. Establishing profitable customer loyalty for multinational companies in the emerging economies: A conceptual framework [Elektronnyy resurs] / Journal of International Marketing. - №21(1). - 2013. - R. 57-80. - Rezhim dostupa: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1509/jim.12.0107>

**Victoria Vladimirovna Vasilyeva**

Orel State University

Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77

Candidate of technical sciences

E-mail: vivaorel57@gmail.com

**Oleg Anatolievich Ivanov**

Orel State University

Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77

Student

E-mail: olegivanovwork@hotmail.com

**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 10.03.2023 г.  
Дата выхода в свет 23.03.2023 г.  
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 8,9  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 79

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95